



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

TÍTULO DE PROYECTO:
PROPUESTA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL PARA GARANTIZAR EL
DRENAJE PARA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL - BARRIO SAN VICENTE
SURORIENTAL, LOCALIDAD SAN CRISTOBAL – BOGOTÁ D.C

PRESENTADO POR:
ESTEFANIA OTALORA PARDO
CÓDIGO: 505175

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTA D.C.
2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**PROPUESTA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL PARA GARANTIZAR EL
DRENAJE PARA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL - BARRIO SAN VICENTE
SURORIENTAL, LOCALIDAD SAN CRISTOBAL – BOGOTÁ D.C**

PRESENTADO POR:
ESTEFANIA OTALORA PARDO
CÓDIGO: 505175

DIRECTOR:
FELIPE SANTAMARIA

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTA D.C.
2018**



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Sin Obras Derivadas — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

NOTA DE ACEPTACIÓN:

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA JURADO

FIRMA JURADO

Bogotá, 20 noviembre 2018

DEDICATORIA

Este trabajo de grado lo dedico principalmente a Dios, quien ha sido siempre el que me ha llevado de su mano y me ha dado la fuerza para superar cada uno de los obstáculos que se presentan en el camino.

Dedico este trabajo a mis padres Luz Mila Pardo, Jorge Iván Otálora, mi hermana Magaly Otálora Pardo, mis abuelitos María del Carmen Suarez y la memoria de Jesús Pardo, quienes han sido y serán el motor de mi vida, mi apoyo incondicional y el motivo más grande por el que quiero alcanzar cada una de las metas propuestas, gracias infinitas por vivir este proceso de 5 años a mi lado en medio de sacrificios y triunfos, pero siempre conscientes de que cada sacrificio tiene su recompensa.

Estefanía Otálora Pardo

AGRADECIMIENTOS

El autor de este proyecto de grado expresa su agradecimiento a:

Ing Felipe Santamaría por su acompañamiento, apoyo y paciencia durante este tiempo en el que se llevó a cabo el desarrollo del proyecto.

Ing Javier Vega, Ing Oscar Javier Burgos, Ing José Guillermo Mansilla e Ing Alex Garzón por brindarme acompañamiento, asesoría y apoyo durante este tiempo.

Leidy Carolina Gómez por su apoyo incondicional.

A cada uno de mis amigos y compañeros que con su apoyo hicieron posible que hoy pueda subir un escalón más en mi vida.

CONTENIDO

RESUMEN	12
INTRODUCCION	13
1 GENERALIDADES.....	15
1.1 ANTECEDENTES	15
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2.1 Descripción del problema	17
1.2.2 Formulación del problema	19
1.3 OBJETIVOS	20
1.3.1 Objetivo general.	20
1.3.2 Objetivos específicos.....	20
1.4 JUSTIFICACIÓN	20
1.5 DELIMITACIÓN.....	22
1.5.1 Espacio	22
1.5.2 Tiempo	22
1.5.3 Contenido.....	22
1.5.4 Alcance	22
1.6 MARCO REFERENCIAL	23
1.6.1 Marco Teórico	23
1.6.2 Marco Conceptual	34
1.6.3 Marco Legal.....	41
1.7 METODOLOGÍA.....	43
1.7.1 Fase I	44
1.7.2 Fase II	44
1.7.3 Fase III	44
2 DISEÑO METODOLÓGICO	46
2.1 PARAMETROS DE DISEÑO.....	46
2.1.1 Tiempo de concentración	46
2.1.2 Intensidad de Lluvias.....	48
2.1.3 Coeficiente de Escorrentía	50

2.1.4	Área de drenaje	50
2.1.5	Caudal de Diseño	51
2.1.6	Tubería PVC.....	51
2.1.7	Pendiente	51
2.1.8	Velocidad	52
2.1.9	Diámetros	52
2.1.10	Distancias mínimas respecto a otras redes	53
2.1.11	Profundidad mínima	53
2.1.12	Cámaras de caída	53
2.2	RESULTADOS	53
2.2.1	Colector N°1	54
2.2.2	Colector N°2.....	55
2.2.3	Colector N°3.....	56
2.2.4	Colector N°4.....	57
2.2.5	Colector N°5.....	57
2.2.6	Colector N°6.....	59
2.3	RESULTADOS MODELACIÓN SEWERGEMS	60
2.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS	62
3	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
3.1	CONCLUSIONES.....	65
3.2	RECOMENDACIONES	67
	BIBLIOGRAFÍA	69
	ANEXOS.....	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estimación cambio de temperatura y precipitaciones en Bogotá	16
Figura 2. Localización General Barrio San Vicente	17
Figura 3. Diámetros Tubería Alcantarillado Combinado Existente – Barrio San Vicente	21
Figura 4. Delimitación Barrio San Vicente Suroriental	23
Figura 5. Curvas IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia)	27
Figura 6. Alcantarillado Pluvial y Sanitario.	36
Figura 7. Alcantarillado Pluvial.	37
Figura 8. Proceso de diseño para una red de alcantarillado.	39
Figura 9. Curvas IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia)	49
Figura 10. Coeficientes de Escorrentía Barrio San Vicente Sur Oriental	50
Figura 11. Alcantarillado Pluvial Proyectado	54
Figura 12. Colector Proyectado N°1	55
Figura 13. Colector Proyectado N°2	56
Figura 14. Colector Proyectado N°3	56
Figura 15. Colector Proyectado N°4	57
Figura 16. Colector Proyectado N°5	58
Figura 17. Colector Proyectado N°6	59
Figura 18. Perfil SewerGEMS del colector proyectado N°3 para 60 minutos	61
Figura 18. Perfil SewerGEMS del colector proyectado N°3 para 180 minutos	61

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores para Coeficiente de Escorrentía	25
Tabla 2. Periodos de Retorno de Diseño	28
Tabla 3. Valores Coeficiente de Rugosidad de Manning, para Conductos Cerrados.	30
Tabla 4. Velocidad de diseño Máxima para Conductos Cerrados.	32
Tabla 5. Normas Diseño de Alcantarillado Pluvial.	43
Tabla 6. Coeficientes ecuación IDF.	48
Tabla 7. Intensidades de curvas IDF.	49
Tabla 8. Relación Máxima de Tubo Y/Ø	52
Tabla 9. Información ramales del Colector N°6	60
Tabla 10. Cámaras de Caída	63

LISTA DE ANEXOS

Anexo. 1 – Memorias de Cálculo (Archivo Excel)

Anexo. 2 – Modelación SewerGEMS

Anexo. 3 – Planos de Diseño (Archivos AutoCAD y pdf)

Anexo. 4 – Carta entrega de proyecto (Scanner pdf)

RESUMEN

Se realizó el diseño de la red de alcantarillado pluvial para el barrio San Vicente Sur-Oriental, localizado al sur de la ciudad de Bogotá D.C, como solución a la problemática de inundación que enfrentan los habitantes de los barrios aguas abajo del sitio de estudio, este evento sucede por falta de capacidad en el sistema existente.

La propuesta de alcantarillado pluvial se diseñó de acuerdo a los parámetros establecidos por la EAB en las normas NS-085 – Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado, NS-029 – Pozos de inspección y NS-047 – Sumideros, adicionalmente el diseño fue modelado en el programa Sewer Gems para verificar que comportamiento presentaba el sistema proyectado de acuerdo a los cálculos propuestos con un periodo de retorno de 5 años para redes secundarias, zonas residencial, comercial, industrial o mixtos.¹

Como resultado se diseñaron seis (6) colectores principales, los cuales descargan a redes existentes del sector, donde cuatro (4) de ellos se conectan al sistema de alcantarillado pluvial y los otros dos (2) colectores se conectan a una red troncal de alcantarillado combinado.

Palabras clave: Sewer Gems, Periodo de retorno, Alcantarillado pluvial, Alcantarillado combinado.

¹ EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

INTRODUCCION

Desde el momento en que se empezaron a establecer nuevas comunidades en lugares de vivienda, se vio la necesidad de dar solución a diferentes problemáticas básicas para el ser humano, por tal razón se dio inicio a la implementación de vías de acceso, abastecimiento de agua potable, evacuación de las aguas domésticas, industriales y lluvias, entre otros, con el fin de tener una vida digna en sus lugares de residencia.

Actualmente Bogotá se ha ido expandiendo y tomando fuerza como una de las ciudades más grandes que tiene el país, según el último registro realizado por el DANE y la Secretaria de Planeación se estima que hasta el año 2017², Bogotá cuenta con ocho millones de habitantes donde algunos de ellos no cuentan con los servicios públicos básicos.

El sistema de alcantarillado pluvial es uno de los servicios públicos con los que deben contar los habitantes de un sector, ya que permite la evacuación de aguas lluvias con el fin de realizar su transporte hasta el punto de descarga final, para recibir el tratamiento pertinente y evitar posibles inundaciones; además las redes que se encuentren localizadas en la parte baja de un área de estudio, no se va a ver sujeto a un mayor coeficiente de escurrimiento³.

A partir de lo anterior, el barrio San Vicente Sur Oriental localizado al sur de la ciudad de Bogotá en la localidad de San Cristóbal, actualmente cuenta con un sistema de alcantarillado combinado que maneja diámetros de 8" hasta 36", sin embargo, esta red no cuenta con la capacidad suficiente para drenar de manera

² Pablo Arciniegas, 'EL TIEMPO', 2017 <<http://www.eltiempo.com/bogota/poblacion-por-edades-de-bogota-2017-109238>>.

³ IGNACIO ANDRÉS DOMÉNECH, SIAPA, 2014 <http://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo_3._alcantarillado_pluvial.pdf>.

eficiente el agua lluvia de esta zona, ya que los barrios localizados aguas abajo de la zona de estudio son los que reciben todo el caudal que tiene el barrio San Vicente en temporadas de lluvia, porque no cuenta con suficientes elementos que ayuden a evacuar el agua rápidamente de la zona. Por este motivo en temporadas de altas precipitaciones los habitantes de barrios aledaños se ven afectados por las inundaciones generadas por el rebose de la red de alcantarillado del barrio San Vicente, ya que no hay un sistema apto que transporte el agua lluvia, además las altas pendientes del barrio, sumado a otros factores, hacen que las redes de alcantarillado de barrios bajos se encuentren sometidos a un alto volumen de escurrimiento.

Por medio de este diagnóstico se realizó el análisis de la red de Alcantarillado combinado existente del barrio San Vicente Suroriental, para identificar los puntos de recolección, sumideros, entre otros, con el propósito de realizar el diseño de la red de alcantarillado pluvial para hacer la separación de los dos sistemas, dando una solución que permita plantear técnicas para el sistema de drenaje y mejorar las condiciones de los habitantes del sector.

1 GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

La red de alcantarillado pluvial se empezó a implementar por primera vez en Nipur - India aproximadamente en el año 3750 a.C, las civilizaciones de esa época construían sus viviendas en sitios cercanos a cuerpos hídricos, la red pluvial se implementaba para evitar las inundaciones en los sectores, estas redes descargaban directamente a los ríos. Hacia el siglo XIX, las redes de alcantarillado pluvial se empezaron a implementar en Europa y Estados Unidos⁴.

Colombia ha visto reflejados cambios significativos en los servicios públicos como acueducto y saneamiento básico en las ultimas 5 décadas. En el año 2016, 89.6% de las viviendas en el país, cuentan con servicios de acueducto⁵.

Bogotá constituyó las redes de alcantarillado a mediados del año 1946, iniciando con el diseño de la red sanitaria, a raíz del problema de las aguas residuales que en su momento era un problema de gran magnitud, ya que se vio afectada la salud de los habitantes por la contaminación generada en el ambiente y el impacto ambiental que se estaba generando al río Bogotá. En el año 1956 fue constituida la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAB), que para esa época fue organizada en 3 divisiones que se conformaron así⁶:

⁴ Porcería Sin Zanja, 'Porcería Sin Zanja', 2016 <<https://www.poceriasinzanja.es/recorrido-por-la-historia-del-alcantarillado/>>.

⁵ Sistema Informativo del Gobierno - SIG, 'PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA', 2017 <<http://es.presidencia.gov.co/noticia/170316-Educacion-salud-y-servicios-publicos-avanzan-en-encuesta-de-calidad-de-vida-2016>>.

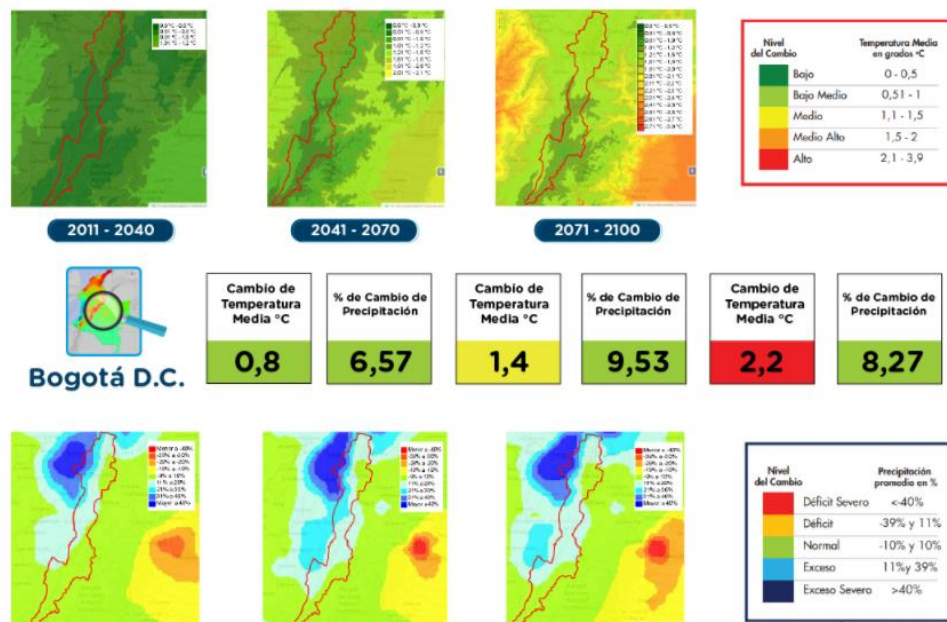
⁶ EAB, *PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO (Documento Técnico Soporte)* (Bogotá, 2006).

- ✓ **Planeamiento:** Llevar a cabo un proyecto para implementar en ciertas zonas donde hubiera posibilidad de crecimiento.
- ✓ **Construcciones:** Encargada de las obras que necesitara la ciudad, reacondicionamiento y ampliación de las redes existentes.
- ✓ **Conservación:** Responsable de realizar el mantenimiento y la limpieza de la red.

El cambio climático altera los recursos hídricos en tiempo y espacio, debido al cambio de precipitación y temperatura que está presentando el planeta.⁷

Según la Tercera Comunicación Nacional del Cambio Climático, se estima que Bogotá en los próximos años presente un aumento de temperatura y precipitaciones, como se puede observar en la Figura 1.

Figura 1. Estimación cambio de temperatura y precipitaciones en Bogotá



Fuente. <http://www.idiger.gov.co/web/guest/rcc>

⁷ Lin Nan, Yang; Bao-hui, Men; Chun-kun, 'Impact Analysis of Climate Change on Water Resources', 2011.

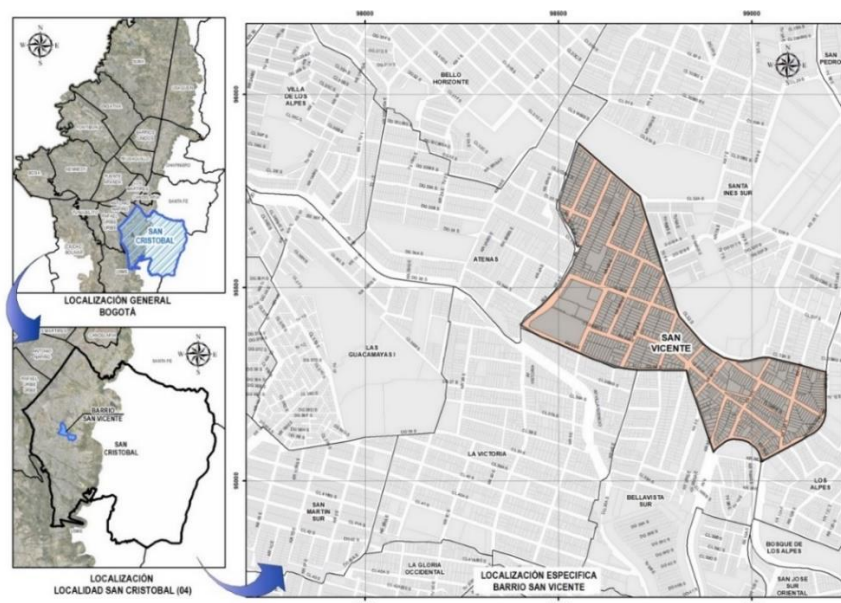
Actualmente algunos barrios de Bogotá se clasifican como ilegales, es por eso que ellos no cuentan con servicios públicos. El barrio San Vicente Sur-Oriental si está constituido como un barrio legal, pero no ha tenido diseños previos para las redes de alcantarillado pluvial.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del problema

El barrio San Vicente se encuentra ubicado en la localidad de San Cristóbal - Zona 4 - al Sur-oriental de la ciudad de Bogotá, limitado entre la Av. Carrera 4 Este a Carrera 10A Este y Calle 34 Sur a Diagonal 35 Sur, cuenta aproximadamente con 1200 habitantes en un área de 21 Ha, la elevación mínima es de 2726 m.s.n.m y la elevación máxima es de 2837 m.s.n.m , su pendiente topográfica es cambiante, sin embargo predomina una pendiente alta en la mayoría de la zona; se encuentra rodeado por los barrios Bellavista Sur, La Victoria, Los Alpes, Atenas y Santa Inés Sur, se ubica aproximadamente en las coordenadas Norte:95.361 Este: 98.786.

Figura 2. Localización General Barrio San Vicente



Fuente. Autor.

Actualmente el barrio San Vicente Sur-Oriental cuenta con un sistema de alcantarillado combinado, el cual no tiene suficiente capacidad hidráulica para el transporte de agua lluvia y residual cuando se presentan fuertes temporadas invernales, además el arrastre de basuras y sedimentos hacen que exista obstrucción en la tubería.

De acuerdo a lo anterior, el agua se infiltra en el suelo, causando deterioro del pavimento rígido al llevarse los finos de la capa asfáltica, este problema perjudica a las personas que se movilizan en transporte público y privado por las vías principales, ya que las cargas transmitidas por los vehículos hacen que las capas del suelo se encuentren expuestas a fallar.

La presencia de sumideros es escasa en el área de estudio, no existe un diseño específico para la recolección de aguas lluvias y los pocos elementos existentes se encuentran obstruidos por basuras, sedimentos y material vegetal.

El barrio San Vicente Sur-Oriental predominan pendientes altas ya que se encuentra localizado cerca a los cerros orientales, mientras que los barrios aguas abajo del área de estudio presentan pendientes medias y bajas; este cambio de pendiente en la topografía hace que la velocidad y el caudal de las aguas lluvias aumente causando inundaciones en los barrios aguas abajo del área de estudio tales como el 20 de Julio, San Blas y Atenas, además de vías como la calle 27 Sur, ya que el nivel del agua supera la altura del sardinel.

El diseño de la red de alcantarillado pluvial es la solución adecuada para solventar la problemática de inundaciones que se presenta en los sectores aledaños aguas abajo del barrio San Vicente Sur-Oriental.

Con base a la información de alcantarillado combinado del barrio San Vicente Sur-Oriental suministrada por la zona 4 de la EAB, se tiene previsto realizar un

diagnóstico que permita efectuar las consideraciones necesarias, falencias y posibles mejoras que indique la norma, con el fin de realizar la separación de los sistemas, donde se pretende dejar la red actual para el sistema de alcantarillado sanitario y proyectar la red de alcantarillado pluvial.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cómo solucionar la problemática de drenaje de agua lluvia en el barrio San Vicente Sur-Oriental para evitar inundaciones que pueda afectar los barrios aledaños aguas abajo?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general.

- ✓ Proponer el diseño de la red de alcantarillado pluvial del barrio San Vicente Suroriental, para brindar solución a la problemática de inundación en los sectores aguas abajo del área de estudio.

1.3.2 Objetivos específicos.

- ✓ Recopilar y analizar la información actual del sistema de alcantarillado existente.
- ✓ Determinar los parámetros necesarios para el diseño del sistema de alcantarillado pluvial proyectado según el SISTEC NS-085 la EAB.
- ✓ Diseñar la red con cada uno de los elementos que conforman el sistema de alcantarillado pluvial, para garantizar el adecuado funcionamiento utilizando SewerGEMS como herramienta de modelado.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Las inundaciones que se han presentado en los últimos tiempos en los barrios San Blas y 20 de Julio, ubicados aguas abajo del área de estudio; este evento se ha presentado por falta de capacidad y mantenimiento de las redes de alcantarillado, cuya consecuencia aumenta por la acumulación de basuras y sedimentos en las fuentes hídricas. Según el sistema SAP que maneja la EAB, el último reporte generado por inundación en los barrios aguas abajo del área de estudio se realizó en el mes marzo de 2017.⁸

⁸ EAB, *Reporte Sistema SAP* (Bogotá, 2017).

Actualmente el barrio San Vicente Sur-Oriental, cuenta con una red de alcantarillado combinado que cubre un área aproximada de 21 Ha, la mayoría del sistema está construido en tubería de Gres con diámetros de 8” a 36” como lo muestra la Figura 3, según la base de datos de la EAB esta tubería fue instalada alrededor del año 1971.⁹

Figura 3. Diámetros Tubería Alcantarillado Combinado Existente – Barrio San Vicente



Fuente. Autor.

El desarrollo de este proyecto permite dar solución a la problemática de inundación que presentan los barrios aguas abajo del área de estudio cuando llega la temporada invernal, este evento se presenta posiblemente al cambio climático que se está registrando en la actualidad. Con este diseño se pretende establecer una nueva red de alcantarillado pluvial que cumpla con los parámetros

⁹ www.esri.com, 'Mapa Consulta SIGUE 2016', 2016
<<http://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=6f4c319c59ed4c8e888d7a934f291fdb>>.

necesarios y elementos de recolección como sumideros y rejillas, con el fin de drenar el agua lluvia que se pueda llegar a presentar en el barrio San Vicente Sur-Oriental.

1.5 DELIMITACIÓN

1.5.1 Espacio

El proyecto se desarrolló en el barrio San Vicente Sur-Oriental, localizado en la ciudad de Bogotá, como solución al problema de inundación que presentan los habitantes aguas debajo de la zona de estudio.

1.5.2 Tiempo

El proyecto se inició en el mes de marzo del 2018 con la recopilación de información suministrada por parte de la EAB. El diseño realizó durante 4 meses, iniciando en el mes de junio de 2018 y culminando el mes de octubre de 2018.

1.5.3 Contenido

El proyecto contiene el diseño de la red de alcantarillado pluvial realizado al barrio San Vicente Sur-Oriental, el cual permite la evacuación de aguas lluvias que se puedan presentar en el sector.

1.5.4 Alcance

Realizar el diseño de la red de alcantarillado pluvial del barrio San Vicente Sur-Oriental, el cual se encuentra limitado entre la Av. Carrera 4 Este a Carrera 10A Este y Calle 34 Sur a Diagonal 35 Sur (Ver Figura 4), este diseño se basa en la norma técnica NS-085 del SISTEC establecida por la EAB, además se realizará la modelación de la red proyectada en el programa SewerGEMS para tener una aproximación del comportamiento que presentaría el sistema.

Figura 4. Delimitación Barrio San Vicente Suroriental



Fuente. Autor.

1.6 MARCO REFERENCIAL

1.6.1 Marco Teórico

De acuerdo a la norma NS-085 del SISTEC, el diseño de una red de alcantarillado pluvial debe cumplir con una serie de parámetros mínimos y cálculos hidráulicos para que el sistema sea funcional.

1.6.1.1 Caudales de Diseño

Para realizar el diseño de la red de alcantarillado pluvial, se debe realizar en cálculo donde se establece el caudal de diseño que se debe utilizar en los colectores y canales, este cálculo se realiza a través del método racional que se aplica a áreas de diseño menores a 10 Ha.¹⁰ La ecuación es:

$$Q = C * I * A \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:

- ✓ Q = Descarga estimada en el sitio determinado (L/s)
- ✓ C= Coeficiente de escorrentía (Adimensional)
- ✓ I = Intensidad de lluvia, para una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y para el periodo de retorno determinado (L/s/Ha).
- ✓ A = Área de drenaje

• COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

El coeficiente de escorrentía hace referencia a la impermeabilidad que tenga el suelo del área de estudio. Este coeficiente establece la fracción de lluvia que de convierte en escorrentía.¹¹

Los valores que se pueden adoptar para el coeficiente de escorrentía C, se muestran en la Tabla 1¹²

¹⁰ EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

¹¹ EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

¹² EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

Tabla 1. Valores para Coeficiente de Escorrentía

TIPOS DE SUPERFICIE	C
Zonas Urbanizadas (áreas residenciales, comerciales, industriales, vías, andenes, etc)	
Cubiertas	0.85
Superficie de asfalto	0.80
Superficie de concreto	0.85
Superficie adoquinada	0.75
Vías no pavimentadas y superficies con suelos compactados	0.60
Zonas Verdes (Jardines, parques, etc)	
Terreno plano (Pendiente menor al 2%)	0.25
Terreno promedio (Pendiente entre el 2% y el 7%)	0.35
Terreno de alta pendiente (Pendiente superior al 7%)	0.40

Fuente. EAB-Norma Técnica NS-085

- **INTENSIDAD DE LLUVIAS**

Para realizar el diseño de una red de alcantarillado pluvial, se debe tener en cuenta la hidrología que maneja el área de estudio, en función de las características físicas, geológicas, topográficas y climatológicas. Los factores climatológicos más relevantes son la precipitación, evaporación, temperatura, aire y humedad del viento.¹³

Las medidas pluviométricas expresan la cantidad de lluvia como una diferencia (Δh), haciendo referencia a la acumulación en una superficie plana, esta medición se realiza con pluviómetros o pluviógrafos. La altura pluviométrica se expresa en mm y el dato se puede registrar diariamente, mensualmente, semanalmente, etc.¹⁴

¹³ Germán Monsalve Sáenz, *HIDROLOGÍA EN LA INGENIERÍA*, ed. by ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIEROS (Bogotá, 1995).

¹⁴ Germán Monsalve Sáenz, *HIDROLOGÍA EN LA INGENIERÍA*, ed. by ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIEROS (Bogotá, 1995).

Se puede realizar el cálculo de la intensidad que puede llegar a tener una lluvia, por medio de las curvas IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia), con el fin de establecer los caudales máximos para una duración determinada como puede ser 30, 60, 90, 120 o 360 minutos y se puede estimar la probabilidad de ocurrencia (años), que es conocida como periodo de retorno.¹⁵

Los datos que se utilizan para los diferentes periodos de retorno son entregados por la empresa por medio de los Datos Técnicos que tenga el proyecto, con el dato de los caudales se puede realizar el cálculo de la intensidad por medio de la siguiente ecuación:¹⁶

$$I = C_1(Duración + X_0)^{C_2} \quad (\text{Ecuación 2})$$

La empresa realiza la entrega los datos de valores que se deben emplear para C1, X0, C2; al aplicar la ecuación, el resultado que se obtiene es expresado en milímetros por hora (mm/h), si se desea tener el resultado el L/s/Ha, la ecuación debe ser multiplicada por 2.78.¹⁷

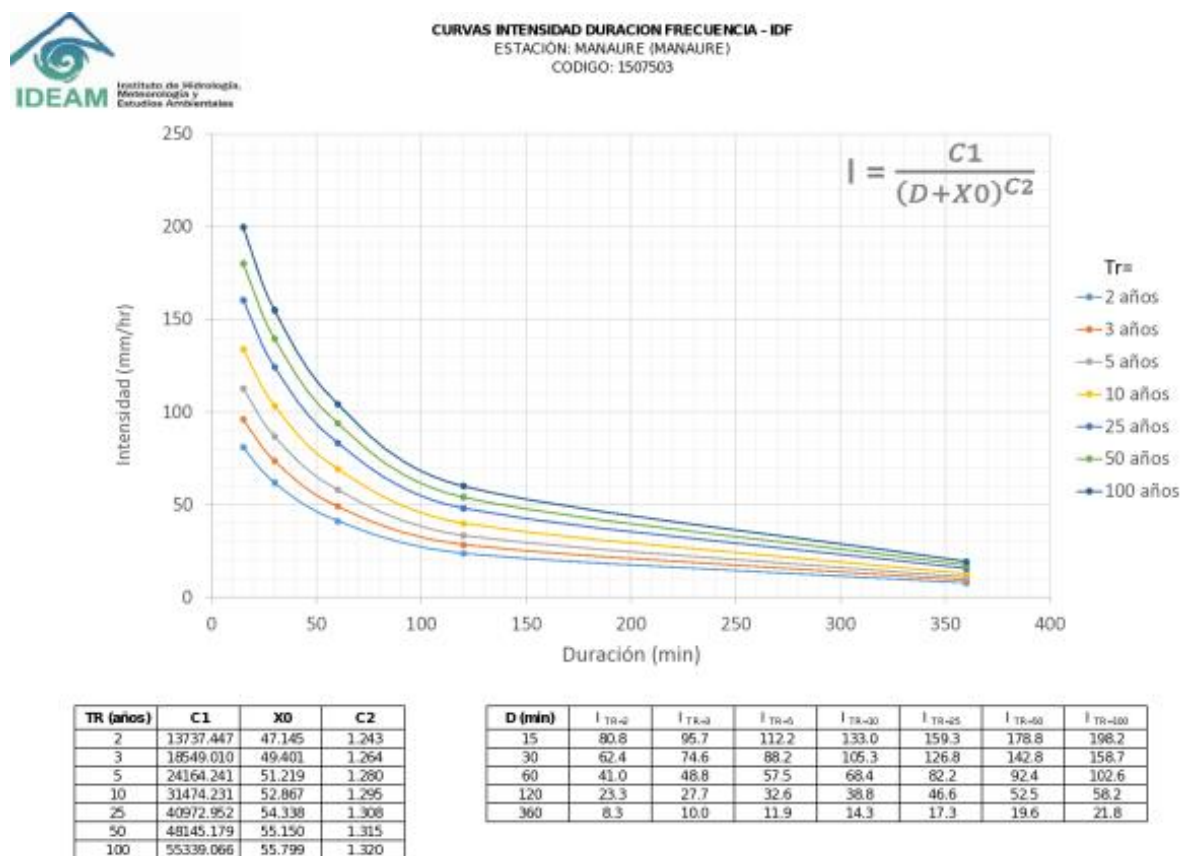
En la **Figura 5** se puede observar un ejemplo de las curvas IDF para una estación determinada, con diferentes periodos de retorno que oscilan entre 2 años y 100 años.

¹⁵ IDEAM, 'IDEAM', 2014 <http://www.ideam.gov.co/curvas-idf?p_p_id=110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_struts_action=%2Fdocument_library_display%2Fview_file_entry&_11>.

¹⁶ EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

¹⁷ EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

Figura 5. Curvas IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia)



Fuente. <http://www.ideam.gov.co/curvas-idf>

• PERIODOS DE RETORNO DE DISEÑO

El periodo de retorno para implementar en el diseño, se determina de acuerdo a las características de protección y la importancia que tenga el área de drenaje. A continuación, se menciona el periodo de retorno que se debe utilizar de acuerdo al escenario que se esté presentando:¹⁸

¹⁸ EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

Tabla 2. Periodos de Retorno de Diseño

CARACTERISTICA DE DRENAJE	AÑOS
Red secundaria alcantarillado, zona residencial, comercial, industrial o mixta	5
Tramos de la red troncal de alcantarillado	10
Canalizaciones abiertas que drenan áreas hasta 100 Ha	25
Canales abiertos mayores a 100 Ha y adecuación de cauces de ríos y quebradas	50

Fuente. EAB-Norma Técnica NS-085

- **TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN**

Es el tiempo necesario después que inicia la precipitación, para que la escorrentía superficial del área de estudio aporte en el punto en consideración. Para realizar el cálculo, se establece como tiempo mínimo 8 minutos sumado al tiempo del recorrido, de acuerdo a la velocidad de la corriente en la zona montañosa, zona urbana, colectores, canales, etc. El tiempo base de concentración en los pozos iniciales es de 15 minutos.¹⁹

- **ÁREAS DE DRENAJE**

Las áreas se determinan para cada tramo de la red de alcantarillado pluvial que se desea diseñar, además solo debe incluirse dentro del cálculo cuando su aporte por escorrentía aporte al tramo de diseño. La unidad de medida para el área tributaria debe ser en hectáreas.²⁰

¹⁹ EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

²⁰ EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

1.6.1.2 Diseño Hidráulico

El diseño de la red de alcantarillado pluvial debe contar con una pendiente y un tamaño ideal para transportar el caudal de diseño, con el fin de evitar la acumulación de sedimentos en la red y así lograr que la red sea funcional, además se debe tener en cuenta que el diseño se debe realizar con la dimensión interna de la tubería.²¹

- **ANÁLISIS HIDRÁULICO**

El diseño de la red de alcantarillado pluvial debe ser diseñada por gravedad, el flujo que transporta la red no es permanente, sin embargo, para dimensionar hidráulicamente la red, se puede asumir que el flujo es uniforme siempre y cuando la tubería este entre 600mm y 900mm, de lo contrario el cálculo debe ser por flujo variado.²²

El análisis hidráulico se puede desarrollar empleando la ecuación de Manning, expresada a continuación:

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Dónde:

- ✓ V = Velocidad de flujo en m/s
- ✓ n = Coeficiente de rugosidad de Manning
- ✓ R = Radio Hidráulico en m
- ✓ A = Área de la sección transversal del conducto en m²

²¹ EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

²² EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

- ✓ P = Perímetro mojado en m
- ✓ S = Pendiente del conducto en m/m

• COEFICIENTES DE RUGOSIDAD

El coeficiente de rugosidad depende del tipo de material en el que se esté diseñando la red, además de la profundidad que maneje el flujo, desalineamiento horizontal del conducto, entre otros, es por eso que la NS-085 del SISTEC, proporciona unos valores para utilizar en el coeficiente de rugosidad de acuerdo a las características físicas del material, los cuales se muestran en la **Tabla 1**.²³

Tabla 3. Valores Coeficiente de Rugosidad de Manning, para Conductos Cerrados.

CARACTERISTICA INTERNA DEL MATERIAL	n
Interior liso	0.010
Interior semirugoso	0.013
Interior rugoso	0.015

Fuente. EAB-Norma Técnica NS-085

• PENDIENTES

Para determinar la pendiente que se va a utilizar en el diseño de la red, se debe tener en cuenta la topografía del terreno donde se va a llevar a cabo el proyecto, de tal manera que la velocidad no supere la establecida por la norma, en caso que la pendiente de la rasante sea alta y haga que la velocidad supere los parámetros de la norma, se deben implementar elementos como cámaras de caída para que los pequeños tramos tengan la pendiente indicada.²⁴

²³ EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

²⁴ EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

- **VELOCIDAD MÍNIMA**

La velocidad mínima con la que se quiera diseñar la red de alcantarillado pluvial, debe cumplir con la condición de auto limpieza, por tal motivo se requiere calcular el esfuerzo tractivo empleando la siguiente ecuación:

$$\tau = \gamma * R * S \quad (\text{Ecuación 4})$$

Dónde:

- ✓ τ = Esfuerzo tractivo
- ✓ γ = Peso específico del agua
- ✓ R = Radio hidráulico
- ✓ S = Pendiente de la conducción

Según la norma NS-085, la velocidad mínima que debe tener una red de alcantarillado pluvial, debe garantizar que el esfuerzo tractivo sea mayor o igual a 0.3 Kg/m² para el caudal de diseño y 0.15 Kg/m² para el 10% de la capacidad a tubo lleno.²⁵

- **VELOCIDAD MÁXIMA**

La velocidad máxima que se emplea en una red de alcantarillado pluvial, depende del material de diseño de la red, teniendo en cuenta la sensibilidad a la abrasión. La **Tabla 4** muestra las velocidades máximas de diseño que debe tener una red, dependiendo del material que se esté utilizando.

²⁵ EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

Tabla 4. Velocidad de diseño Máxima para Conductos Cerrados.

Material	Velocidad Máxima Permisible (m/s)
Concreto fundido in situ (Box Culvert)	5.0
Concreto prefabricado (Tuberías)	6.0
Gres Vitrificado	5.0
PVC	9.0
Fibra de vidrio GRP	4.0
Colectores de ladrillo común	3.0

Fuente. EAB-Norma Técnica NS-085

- **DIÁMETROS MÍNIMOS**

El diámetro nominal mínimo que debe tener una red de alcantarillado pluvial es de 300 mm, especialmente en el inicio de la red.²⁶

1.6.1.3 Modelos Matemáticos de SewerGEMS

El programa de modelación SewerGEMS, cuenta con dos motores de cálculo que se encargan de resolver implícitamente las ecuaciones y generar los resultados a partir de los datos de ingreso al programa.²⁷

El primer modelo de cálculo que tiene SewerGEMS es el método algorítmico, que es el modelo utilizado por EPA SWWM, donde se puede registrar la fecha y la hora en la que se desea realizar la simulación, y el método de fricción que se

²⁶ EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

²⁷ Pierre Patrick Sarmiento Abril, *DIGITALIZACIÓN DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA DE UN ALCANTARILLADO Y EVALUACIÓN HIDRÁULICA CON APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS COMPATIBLES CON ARCGIS: SEWERGEMS* (Cuenca - Ecuador, 2012).

utilizará para la tubería que son Manning, Hazen-Williams, Darcy-Weisbach o Kutters.²⁸

El segundo modelo de cálculo utilizado por SewerGEMS, es el método de ecuaciones de Saint Venant, donde utiliza un flujo unidimensional no permanente en la tubería, este se basa en la solución implícita de ecuaciones unidimensionales.²⁹

Por lo general el caudal que maneja una red de alcantarillado, es un flujo de superficie libre, es por eso que las ecuaciones de Saint Venant son las que realizan de manera implícita el cálculo, ya que las conducciones son las ecuaciones para un flujo de alcantarilla inestable.³⁰ El modelo utiliza las siguientes ecuaciones:

Ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial(A + A_0)}{\partial t} - q = 0$$

Ecuación de momento:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial\left(\frac{\beta Q^2}{A}\right)}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial y}{\partial x} - S_0 + S_f + S_e\right) + L = 0$$

²⁸ Germán Monsalve Sáenz, *HIDROLOGÍA EN LA INGENIERÍA*, ed. by ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIEROS (Bogotá, 1995).

²⁹ EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

³⁰ Bentley Institute Press, 'Welcome to Bentley SewerGEMS V8i Help', in *Bentley SewerGEMS V8i User's Guide*, ed. by Bentley Institute Press.

Dónde:

- ✓ t = Tiempo
- ✓ x = Distancia a lo largo del eje longitudinal de la alcantarilla
- ✓ y = Profundidad del flujo
- ✓ A = Área de flujo de la sección transversal activa
- ✓ A_0 = Corte transversal inactivo – área de flujo
- ✓ q = Entrada o salida lateral
- ✓ \hat{a} = Coeficiente para la velocidad no uniforme
- ✓ g = Gravedad
- ✓ S_0 = Pendiente del canal
- ✓ S_f = Pendiente de fricción determinado por Manning
- ✓ S_e = Pendiente debido a la expansión-contracción local (perdida por grandes remolinos)
- ✓ L = Efecto momentum del flujo lateral

Las ecuaciones anteriores constituyen un flujo inestable, cuando un modelo se basa en este tipo de flujo, es conocido como modelo de enrutamiento dinámico.

1.6.2 Marco Conceptual

El agua potable es uno de los recursos indispensables que necesita un ser humano para sobrevivir, el proceso de abastecimiento de una población inicia con sistemas de captación, almacenamiento, tratamiento y distribución, sin embargo cuando el agua ya es utilizada se debe disponer de sistemas de alcantarillado para realizar el drenaje y llevarlas hasta un receptor final, sumado a las aguas producidas por las precipitaciones de determinadas zonas, este sistema se le

conoce como alcantarillado combinado donde un mismo colector realiza el transporte de aguas lluvias y aguas residuales.³¹

Un sistema de alcantarillado hace parte esencial del desarrollo urbano, ya que se encarga de transportar el agua residual y lluvia que se produce en un área específica, para ser transportada hasta la planta de tratamiento correspondiente antes de ser descargado a un cuerpo hídrico.³² El periodo de diseño para una red de alcantarillado, se debe proyectar para 25 años.³³

Sin embargo, los sistemas de alcantarillado combinado causan un gran impacto en el medio ambiente, ya que no se le realiza el tratamiento adecuado por lo tanto resultan ser más costoso, es por eso que resulta viable realizar el diseño y construcción de estos sistemas de manera independiente, ya que las precipitaciones pueden causar mayor volumen de agua, que el agua producida por un sistema de alcantarillado residual y las plantas de tratamiento resultan ser más económicas ya que solo se enfocan en un sistema.³⁴

³¹ Comisión Nacional del Agua, *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*, 2007 <[ftp://ftp.cna.gob.mx/Mapas/libros/pdf/2007/Alcantarillado Pluvial.pdf](ftp://ftp.cna.gob.mx/Mapas/libros/pdf/2007/Alcantarillado%20Pluvial.pdf)>.

³² G. Iglesias, Mauricio; Montero-Castro, I.; Mollerup, A.L.; Sin, 'Self-Optimising Control of Sewer Systems', 2013.

³³ Ciudad y Territorio Ministerio de Vivienda, *Resolución 0330* (Bogotá - Colombia, 2017).

³⁴ Comisión Nacional del Agua, *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*, 2007 <[ftp://ftp.cna.gob.mx/Mapas/libros/pdf/2007/Alcantarillado Pluvial.pdf](ftp://ftp.cna.gob.mx/Mapas/libros/pdf/2007/Alcantarillado%20Pluvial.pdf)>.

Figura 6. Alcantarillado Pluvial y Sanitario.



Fuente. <http://slideplayer.es/slide/1654677/>

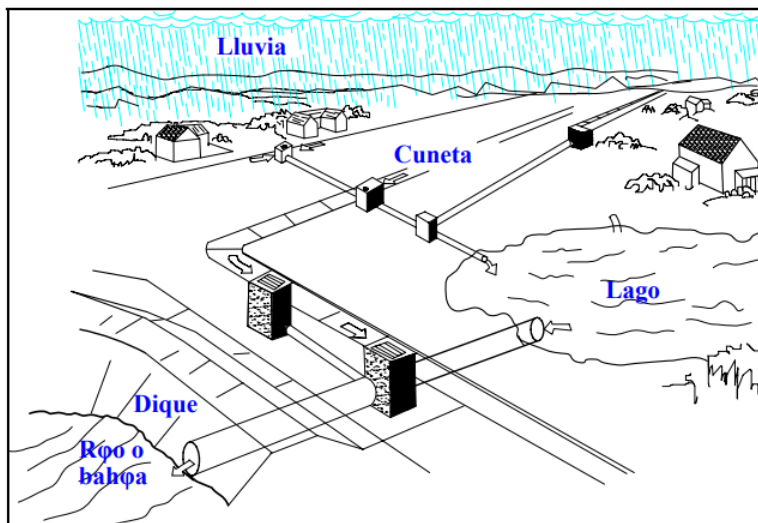
El desarrollo urbano que actualmente viven las ciudades, no contemplan una planeación previa, por esta razón se ha perdido el respeto por los drenajes naturales que conforman una ciudad, es por eso que la mala planificación hace que existan problemas de inundaciones, ya que el diseño existente de las redes no es suficiente para realizar el desagüe del drenaje artificial resultante.³⁵

En la **Figura 7** se puede observar una red de alcantarillado pluvial, es conformada por colectores, pozos de inspección, sumideros, rejillas y canales, los cuales son elementos fundamentales para realizar la evacuación de escorrentía superficial que se presente un área determinada. Este sistema realiza la recolección del agua lluvia por medio de los sumideros y rejillas para ser transportada a la red de

³⁵ Manuel Dolz, José; Gómez, *PROBLEMATICA DEL DRENAJE DE AGUAS PLUVIALES EN ZONAS URBANAS Y DEL ESTUDIO HIDRÁULICO DE LAS REDES COLECTORAS* (Barcelona - España, 1994).

tuberías que van aumentando su diámetro a medida que el área de drenaje aumenta, para entregar al receptor final como río, lago o embalse.³⁶

Figura 7. Alcantarillado Pluvial.



Fuente. <ftp://ftp.cna.gob.mx/Mapas/libros%20pdf%202007/Alcantarillado%20Pluvial.pdf>

Existen diferentes componentes que hacen parte de una red de alcantarillado pluvial, son fundamentales para que el sistema funcione, sumado al diseño hidráulico; a continuación, se define algunos de ellos:

- ✓ **Sumidero:** Es el elemento encargado de captar el agua que se produce en medio de la precipitación para conducirla al pozo de inspección, esta estructura está diseñada para impedir el paso de sólidos de gran tamaño que puedan causar el taponamiento de la red.³⁷
- ✓ **Captación Lateral:** Orificio ubicado en el sardinel, el cual se encarga de captar el agua que se produce por la precipitación.³⁸

³⁶ Ricardo Alfredo López Cualla, *ELEMENTOS DE DISEÑO PARA ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS*, ed. by ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIEROS (Bogotá - Colombia, 2015).

³⁷ EAB, 'NS-047 - Sumideros' (Bogotá, 2006).

³⁸ EAB, 'NS-047 - Sumideros' (Bogotá, 2006).

- ✓ **Pozo de Inspección:** Estructura construida para facilitar la ventilación, acceso y mantenimiento de las redes de alcantarillado.³⁹
- ✓ **Estructura de Conducción:** Elemento encargada de transportar el agua que es captada por los sumideros y transportada hasta el sitio de tratamiento.⁴⁰
- ✓ **Estructuras de Vertido:** Elemento ubicado en la descarga final de la red de alcantarillado, encargado de mantener libre el espacio para el vertimiento del agua tratada.⁴¹
- ✓ **Disposición final:** Lugar destinado para la disposición final del agua residual o pluvial que conduce la red o conexión a redes existentes.⁴²

En la siguiente figura se muestra de manera resumida el proceso de diseño que de una red de alcantarillado:

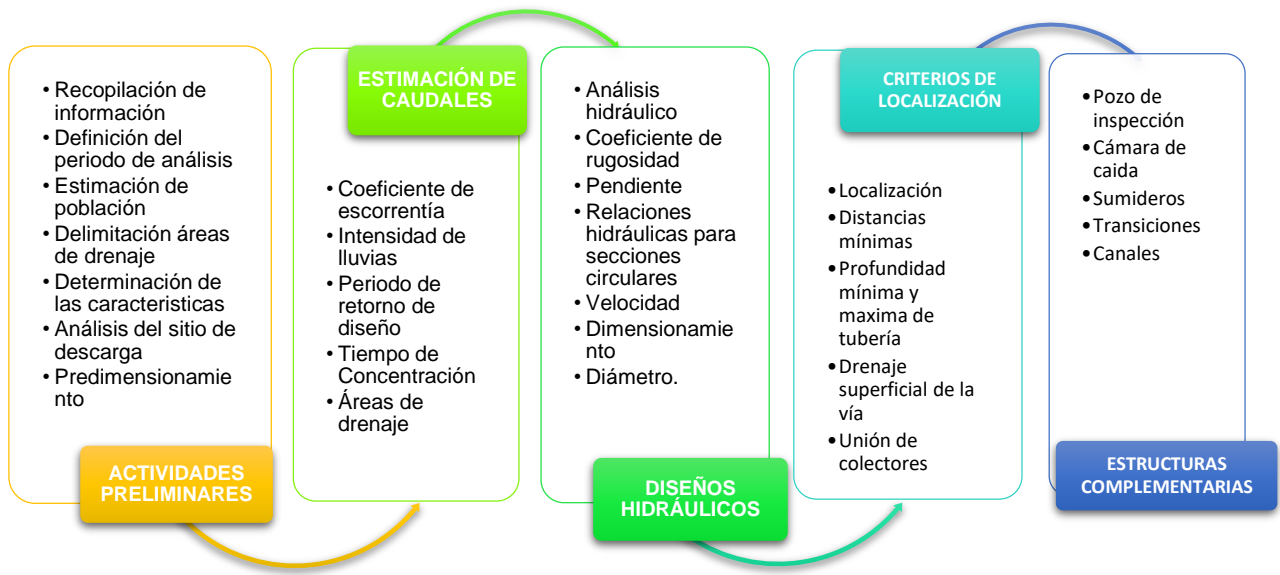
³⁹ EAB, 'NS-029 - Pozos de Inspección' (Bogotá, 2016).

⁴⁰ Comisión Nacional del Agua, *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*, 2007 <ftp://ftp.cna.gob.mx/Mapas/libros/pdf/2007/Alcantarillado Pluvial.pdf>.

⁴¹ Comisión Nacional del Agua, *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*, 2007 <ftp://ftp.cna.gob.mx/Mapas/libros/pdf/2007/Alcantarillado Pluvial.pdf>.

⁴² Comisión Nacional del Agua, *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*, 2007 <ftp://ftp.cna.gob.mx/Mapas/libros/pdf/2007/Alcantarillado Pluvial.pdf>.

Figura 8. Proceso de diseño para una red de alcantarillado.



Fuente. Autor.

De igual manera existen herramientas que permiten realizar la modelación del diseño, SewerGEMS es uno de los programas que permite realizar la modelación de la red de alcantarillado proyectado, esta herramienta tiene diferentes capacidades que se describen a continuación:⁴³

- ✓ **Asignar y estimar cargas sanitarias:** Cuenta con una biblioteca de ingeniería que brinda la posibilidad de agregar hidrogramas y cargas unitarias, también tiene un vínculo con la herramienta SIG que permite importar cargas unitarias de manera automática, para usar en el modelo.⁴⁴

⁴³ Bentley Institute Press, *Modeling Software for Sanitary and Combined Sewers* <<https://www.bentley.com/en/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/sewergems>>.

⁴⁴ Bentley Institute Press, *Modeling Software for Sanitary and Combined Sewers* <<https://www.bentley.com/en/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/sewergems>>.

- ✓ **Asignar y estimar cargas pluviales:** Permite cargar los modelos con un flujo de escorrentía en ambientes húmedos utilizando los eventos de lluvia que pueden ser asignados según los estudios del proyecto.⁴⁵
- ✓ **Analizar hidráulica y desbordamientos combinados de alcantarillas:** Contiene diferentes tipos de solucionadores dependiendo del sistema que se esté analizando, contiene la ecuación de Saint Venant, solucionador de flujo convexo/variado gradualmente y por último el solucionador de flujo racional/gradualmente variado.⁴⁶
- ✓ **Analizar las capacidades de entrada:** Realiza el cálculo de proporción de escorrentía para un sistema pluvial que ingresara en una entrada en relación con lo que será transportado río abajo en una cuenca.⁴⁷
- ✓ **Construye y maneja modelos hidráulicos:** Permite importar datos en diferentes formatos que maximice el ROI en datos geospaciales, automatizando la extracción de datos y la asignación de nodos.⁴⁸
- ✓ **Diseña y analiza alcantarillas:** Permite definir el tipo de alcantarilla, con su material y la especificación de datos de entrada, para que el programa realice el cálculo de las elevaciones del elemento y la escorrentía utilizada.⁴⁹

⁴⁵ Bentley Institute Press, *Modeling Software for Sanitary and Combined Sewers* <<https://www.bentley.com/en/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/sewergems>>.

⁴⁶ Bentley Institute Press, *Modeling Software for Sanitary and Combined Sewers* <<https://www.bentley.com/en/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/sewergems>>.

⁴⁷ Bentley Institute Press, *Modeling Software for Sanitary and Combined Sewers* <<https://www.bentley.com/en/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/sewergems>>.

⁴⁸ Bentley Institute Press, *Modeling Software for Sanitary and Combined Sewers* <<https://www.bentley.com/en/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/sewergems>>.

⁴⁹ Bentley Institute Press, *Modeling Software for Sanitary and Combined Sewers* <<https://www.bentley.com/en/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/sewergems>>.

- ✓ **Diseñar sistemas de aguas pluviales:** Permite definir restricciones que necesite el diseño como velocidad, pendiente, profundidad de tubería.⁵⁰

Además esta herramienta de modelación, ha permitido durante más de tres décadas, dar soluciones a diferentes problemas de ingeniería, ya que permite la planificación, diseño, mantenimiento y operación de los sistemas de alcantarillado, por medio de herramientas que tienen un escenario hipotético del proyecto, permitiendo tener mayor comprensión del funcionamiento de la red, con el fin de tener mayor confianza en los resultados del modelo.⁵¹

1.6.3 Marco Legal

La norma principal que rige el diseño de alcantarillados en Colombia es el RAS 2000 con su nueva actualización de la Resolución 0330 del año 2017, donde muestra los parámetros mínimos de diseño que debe cumplir una red de alcantarillado para que sea hidráulicamente funcional, como las velocidades, diámetros, pendientes, cálculos hidráulicos, entre otros.⁵²

Sin embargo la NS-085 del SISTEC, es la normatividad que actualmente se encuentra vigente para el diseño de alcantarillado en la ciudad de Bogotá, este documento fue elaborado por la EAB y muestra los parámetros mínimos de diseño que debe cumplir la red.⁵³

⁵⁰ Bentley Institute Press, *Modeling Software for Sanitary and Combined Sewers* <<https://www.bentley.com/en/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/sewergems>>.

⁵¹ Bentley Institute Press, *Modeling Software for Sanitary and Combined Sewers* <<https://www.bentley.com/en/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/sewergems>>.

⁵² Ciudad y Territorio Ministerio de Vivienda, *Resolución 0330* (Bogotá - Colombia, 2017).

⁵³ EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

Según la norma, para realizar el diseño de la red de alcantarillado pluvial, se debe contar con una serie de aspectos importantes como la recolección de información existente en el área de estudio, definición del periodo de análisis, estimar la población de la zona basados en el Plan de Ordenamiento Territorial POT, realizar la delimitación de las áreas de drenaje y realizar la elección de la alternativa más favorable para llevar a cabo el diseño.⁵⁴

De acuerdo a la norma NS-085, se debe realizar la estimación de los caudales del sistema de alcantarillado pluvial, de tal manera que se pueda cumplir con las consideraciones generales para la red de alcantarillado pluvial que se muestran a continuación:⁵⁵

- ✓ Se debe detener el agua lluvia en su lugar de origen el mayor tiempo posible, sin generar inundaciones, de tal manera que se pueda evitar la alteración del sistema de drenaje.⁵⁶
- ✓ Permitir que se realice la evacuación del agua lluvia con el fin de evitar la acumulación de caudales en vías públicas, ubicando los sumideros en sitios estratégicos.⁵⁷
- ✓ Evitar que las construcciones de tipo público y privado se vean afectados por la entrada de aguas lluvias.⁵⁸

A demás también se contempla la norma NS-047, donde muestra los parámetros para la ubicación de los sumideros en el área de estudio.⁵⁹

⁵⁴ EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

⁵⁵ EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

⁵⁶ EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

⁵⁷ EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

⁵⁸ EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

⁵⁹ EAB, 'NS-047 - Sumideros' (Bogotá, 2006).

La norma NS-085 establece los criterios de localización de los colectores donde se contempla la ubicación de la red con respecto al eje de la vía, se debe respetar las distancias mínimas respecto a otras redes, profundidades mínimas y máximas que deben tener las cotas claves respecto al terreno, el manejo de las pendientes en los cambios bruscos de topografía.⁶⁰

De igual manera se debe tener presente la norma NS-029, la cual contempla las especificaciones mínimas que deben tener los pozos de inspección dependiendo la situación que se esté presentando con el diseño; dentro de las situaciones se debe tener presente los cambios de dirección en la tubería, cambio de diámetro, intersección con las tuberías de la misma red, entre otros, además establece las profundidades mínimas y máximas dependiendo el diámetro de la tubería.⁶¹

En la **Tabla 5** se muestra las normas que se deben tener en cuenta para el diseño de alcantarillado pluvial.

Tabla 5. Normas Diseño de Alcantarillado Pluvial.

CÓDIGO	NORMA	TIPO DE DOCUMENTO
NS - 085	Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado	Norma Técnica de Servicio
NS - 029	Pozos de inspección	Norma Técnica de Servicio
NS - 047	Sumideros	Norma Técnica de Servicio

Fuente. Autor.

1.7 METODOLOGÍA

Se utilizó el método cuantitativo para el desarrollo del proyecto, el cual sigue una secuencia lógica para realizar la recopilación de información y posteriormente el

⁶⁰ EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

⁶¹ EAB, 'NS-029 - Pozos de Inspección'.

análisis de los datos obtenidos, con el fin de dar respuesta a la pregunta de investigación planteada. El proyecto se realizó con información secundaria (topografía, loteo, manzanas, malla vías, imágenes satelitales, redes existentes, entre otros) suministrada por la EAB, el diseño fue desarrollado a partir de las normas vigentes que muestra la plataforma SISTEC, donde se encuentra los parámetros a utilizar para los proyectos desarrollados en la ciudad de Bogotá D.C.

A continuación, se muestran las fases que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del proyecto:

1.7.1 Fase I

Realizar actividades preliminares como el reconocimiento de la zona de estudio, la recopilación de información con las redes existentes de los sistemas de alcantarillado pluvial, sanitario o combinado, topografía, loteo, malla vial, entre otros, adicionalmente se debe solicitar a la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá la información hidrológica con los coeficientes C_1 , X_0 y C_2 para las coordenadas del punto medio de la zona de estudio (N: 995411; E: 998769), con el fin de realizar los cálculos de intensidades en el proyecto.

1.7.2 Fase II

Se realiza la delimitación de las áreas de drenaje, el trazado de la red proyectada y por último se localizan los posibles puntos de descarga. El lineamiento proyectado debe cumplir con las distancias mínimas respecto a las redes existentes.

1.7.3 Fase III

Se realiza el diseño hidráulico de la red de alcantarillado, el cual se basa en los parámetros de la norma NS-085 - Criterios de diseño de sistemas de

alcantarillado, donde se establece las cotas rasantes para cada pozo, la longitud de tubería, diámetros según el caudal de diseño, pendientes, velocidades, entre otros. Basados en lo anterior, se realiza la modelación en el programa SewerGEMS.

1.7.3.1 Fase IV

Por último, se realiza el análisis comparativo según el diseño de alcantarillado pluvial y la modelación, además se presentan planos con las áreas de drenaje, planta-perfil y detalles.

2 DISEÑO METODOLÓGICO

2.1 PARAMETROS DE DISEÑO

A continuación, se describe los parámetros utilizados en el diseño que determinan el dimensionamiento de la red de alcantarillado proyectada:

2.1.1 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración se determinó de acuerdo al tiempo de entrada y tiempo de tránsito; para los pozos iniciales el tiempo de concentración mínimo debe ser de 15 min según lo establece la norma NS-085.

- **Tiempo de entrada:** únicamente aplica únicamente para los pozos iniciales, y se determina de acuerdo a la ecuación:

$$T_e = \frac{1}{60} * \frac{L}{V}$$

Dónde:

- ✓ T_e = Tiempo de entrada (min)
- ✓ L = Longitud de la trayectoria del fluido (m)
- ✓ V = Promedio de velocidad del flujo de agua (m/s)

La velocidad promedio del flujo del agua se debe determinar de acuerdo a las características del terreno, es decir, si la trayectoria del fluido se encuentra en áreas pavimentadas o no pavimentadas. Según la norma NS-085, el tiempo mínimo de entrada debe ser de 8 minutos.

- **Tiempo de tránsito:** Será estimado de acuerdo a la longitud y velocidad real que se esté calculando para cada uno de los tramos por medio de la ecuación:

$$Tt = \frac{1}{60} * \frac{L}{V}$$

Dónde:

- ✓ Tt= Tiempo de tránsito (min)
- ✓ L = Longitud de la tubería (m)
- ✓ V = Promedio de velocidad real (m/s)

La velocidad para el tiempo de tránsito se considera de acuerdo a una profundidad del agua igual al 80% de la profundidad máxima en conductos cerrados.⁶² La velocidad se calcula de acuerdo a la ecuación de Manning:

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Se asumió una velocidad inicial de 1m/s, para generar el cálculo del Tiempo de concentración, luego de los cálculos esta velocidad se reemplazó por la velocidad real de la tubería (Vr).

Finalmente, el tiempo de concentración se calcula por medio de la ecuación:

$$Tc = Te + Tr$$

⁶² EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

2.1.2 Intensidad de Lluvias

La intensidad de lluvia se determinó de acuerdo las curvas IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia) en las coordenadas centrales del área de estudio (E:998769; N:995411), a partir de los coeficientes mostrados en la **Tabla 6**:⁶³

Tabla 6. Coeficientes ecuación IDF.

Tiempo de retorno (años)	Coeficientes		
	C1	X ₀	C2
3	1924.85	21.00	-0.966
5	2160.33	20.20	-0.963
10	2280.63	18.80	-0.946
25	2502.27	17.50	-0.933
50	2570.53	16.10	-0.919
100	2862.37	16.30	-0.922

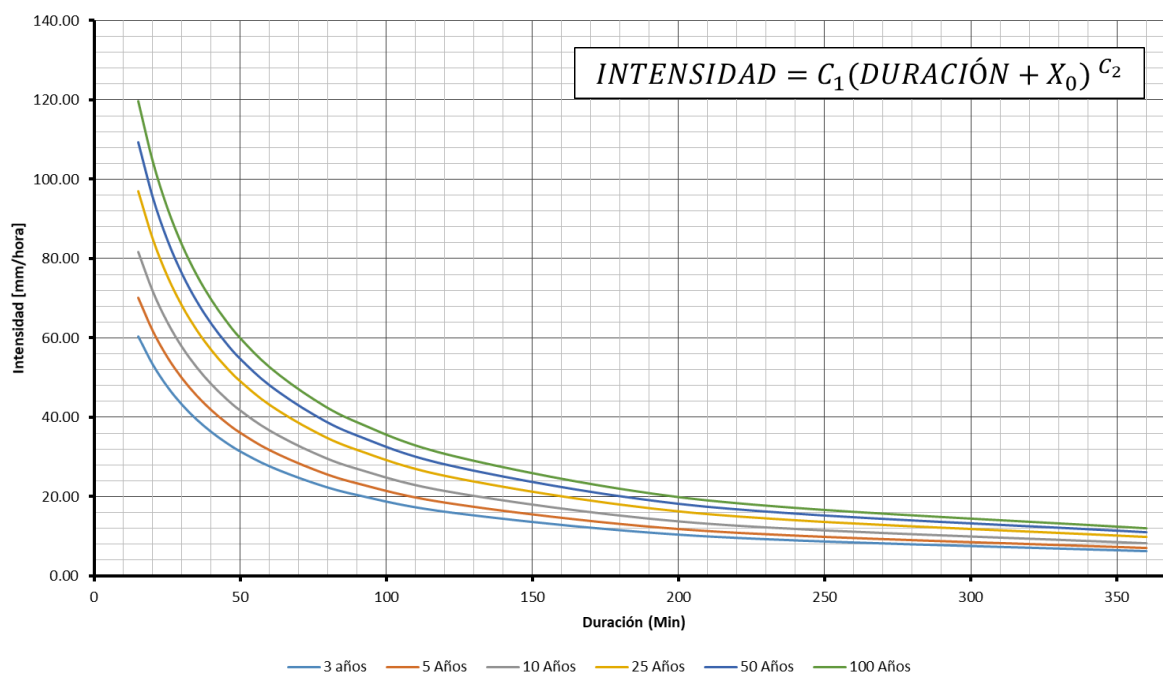
Fuente. EAB

Para el cálculo de la intensidad se tuvo en cuenta un periodo de retorno de 5 años, ya que el área de estudio está asociada a las características de protección e importancia como se muestra en la **Tabla 2**.

En la **Figura 9** se presentan las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia, obtenidas mediante la ecuación de Intensidad, para el barrio San Vicente Sur-Oriental.

⁶³ EAB, 'COEFICIENTES DE CURVAS IDF' (Bogotá, 2018).

Figura 9. Curvas IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia)



Fuente. EAB

En la **Tabla 7** se muestra las intensidades para los diferentes periodos de retorno correspondientes a las curvas IDF de la **Figura 9**.

Tabla 7. Intensidades de curvas IDF.

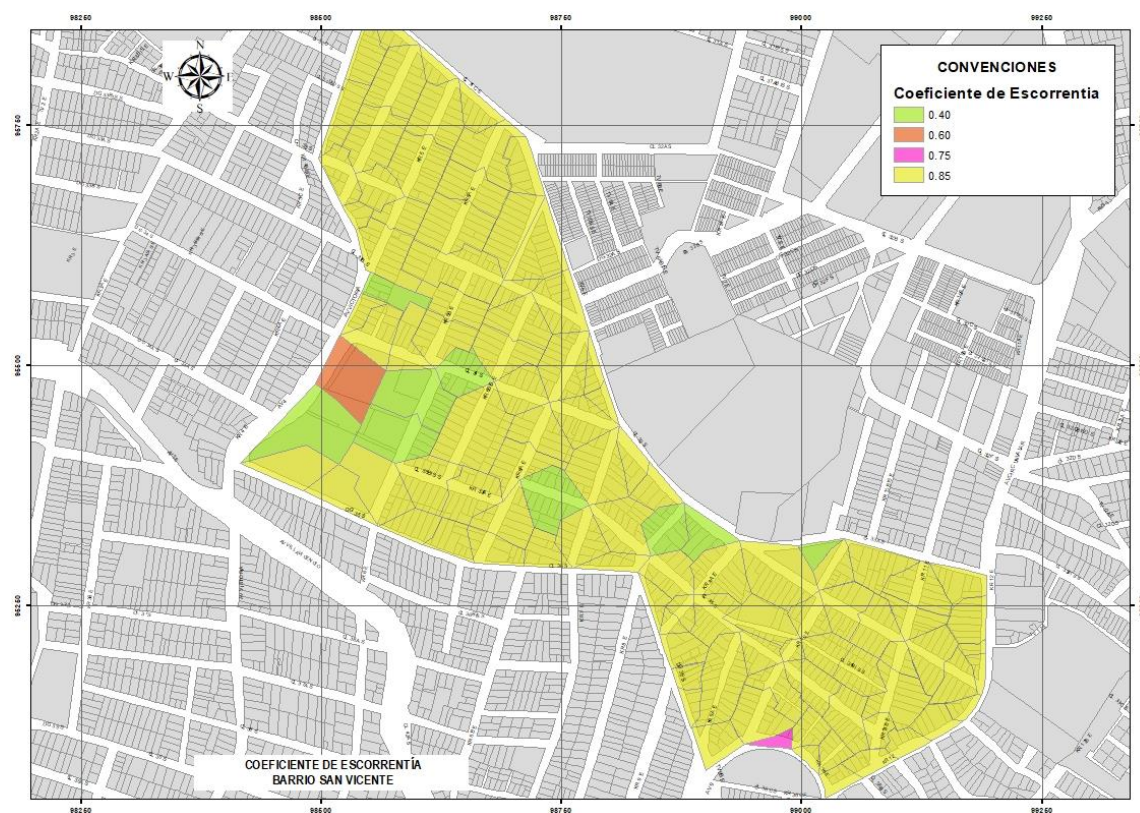
Tr	Coeficientes			Intensidades (mm/hr)														
	C1	X0	C2	15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	90	120	180	240	360
3	1924.85	21.00	-0.966	60.30	53.17	47.58	43.06	39.34	36.22	33.56	31.28	27.54	23.37	20.31	16.12	11.44	8.89	6.17
5	2160.33	20.20	-0.963	70.05	61.64	55.06	49.77	45.42	41.78	38.69	36.04	31.70	26.88	23.34	18.51	13.14	10.21	7.08
10	2280.63	18.80	-0.946	81.67	71.68	63.92	57.71	52.62	48.38	44.78	41.70	36.68	31.10	27.03	21.47	15.29	11.91	8.31
25	2502.27	17.50	-0.933	97.09	84.95	75.58	68.13	62.05	57.00	52.73	49.08	43.14	36.57	31.79	25.26	18.02	14.06	9.84
50	2570.53	16.10	-0.919	109.25	95.27	84.56	76.10	69.23	63.54	58.74	54.65	48.01	40.70	35.38	28.14	20.12	15.74	11.06
100	2862.37	16.30	-0.922	119.71	104.42	92.71	83.44	75.91	69.68	64.42	59.93	52.65	44.62	38.78	30.84	22.03	17.23	12.09

Fuente. Autor

2.1.3 Coeficiente de Escorrentía

El coeficiente de escorrentía se determinó según las características del área de drenaje como lo señala la **Tabla 1** de la norma NS-085; en la **Figura 10** se muestra los valores que se tomaron para cada área tributaria.

Figura 10. Coeficientes de Escorrentía Barrio San Vicente Sur Oriental



Fuente. Autor

2.1.4 Área de drenaje

Se tuvo en cuenta dos tipos de áreas, la primera corresponde al área tributaria (propia) que hace referencia a la entrega directa del tramo analizado, la segunda es el área tributaria (Otra), que hace referencia al aporte indirecto al pozo inicial del tramo analizado. Estas áreas se encuentran relacionadas en el **Anexo. 1**

2.1.5 Caudal de Diseño

Para la estimación del caudal de diseño se utilizó el método racional, ya que el área de estudio fue sectorizada, es decir el diseño proyectado cuenta con diferentes puntos de descarga para los colectores propuestos que no superan las 10 Ha como lo indica la norma.

2.1.6 Tubería PVC

El diseño se realizó con tubería PVC, los valores de diámetros internos fueron tomados del catálogo de PAVCO⁶⁴, por ser una marca comercial en Colombia; la referencia utilizada fue NOVAFORT S8⁶⁵ la cual está constituida como tubería de mayor resistencia al tránsito vehicular, esto se realizó para tener resultados más confiables; se asoció el n de Manning como 0.01 ya que el interior de la tubería es lisa.

2.1.7 Pendiente

La pendiente se calculó por medio de la diferencia entre cotas clave y la longitud, la topografía del sector es alta, por tal motivo las pendientes del diseño también son altas, sin embargo, el diseño es óptimo al cumplir con los parámetros estimados en la norma. La pendiente se calculó por medio de la ecuación:

$$\frac{CC_s - CC_e}{L} * 100$$

Dónde:

✓ CC_s = Cota Clave salida (m.s.n.m)

⁶⁴ PAVCO, *Manual Técnico Tubosistemas Para Alcantarillado Novafort - Novaloc*, 2014 <<https://pavco.com.co/manuales-tecnicos>>.

⁶⁵ PAVCO, *Tubería PVC Alcantarillado - Novafort*, 2017 <<https://pavco.com.co/tuberia-pvc-alcantarillado-novafort-pavco>>.

- ✓ CC_e = Cota Clave entrada (m.s.n.m)
- ✓ L = Longitud de la tubería (m)

2.1.8 Velocidad

- **Velocidad mínima:** Está condicionada a la auto limpieza de la tubería garantizando que el esfuerzo cortante sea mayor o igual a 0.3 kg/m².
- **Velocidad máxima:** Para material PVC, la velocidad máxima no puede superar 9 m/s según lo establece la norma.

2.1.9 Diámetros

La norma establece que el diámetro mínimo para una red de alcantarillado pluvial debe ser de 300 mm, sin embargo, el manual de PAVCO no cuenta con este diámetro específico, por tal razón se utilizó un diámetro cercano por encima de este valor, es decir que para este diseño el diámetro mínimo adoptado es de 315 mm.

El diámetro del tubo se determinó de acuerdo a la relación máxima del tubo lleno Y/ϕ según los valores que muestra la **Tabla 8**.

Tabla 8. Relación Máxima de Tubo Y/ϕ

ϕ Real Interno	Relación Máx. Y/ϕ
mm	%
Menos a 500	70
Entre 500 y 1000	80
Mayor a 1000	85

Fuente. EAB-Norma Técnica NS-085

2.1.10 Distancias mínimas respecto a otras redes

La distancia mínima con otras redes respecto al eje horizontal fue de 1 metro, esta distancia se mide desde las superficies externas de los tubos, en el eje vertical se tomó una distancia mínima de 0.30m.⁶⁶

2.1.11 Profundidad mínima

La profundidad mínima para redes de alcantarillado pluvial es de 1.00m medidos desde la cota clave de la tubería hasta la rasante definitiva de la vía⁶⁷, tal como lo establece la norma NS-035 Requerimientos para cimentación de tuberías en redes de acueducto y alcantarillado, Versión 3.1, numeral 4.7.6.5.

2.1.12 Cámaras de caída

Las cámaras de caída se ubicaron en los pozos donde la diferencia entre la cota batea de entrada y salida del pozo fuera superior a 0.75m, el diámetro del tubo de la cámara de caída debe ser del mismo diámetro de entrada al pozo, esto aplica para tuberías de máximo de 16", para tuberías de diámetro superior el diámetro de la cámara de caída debe ser de 16".⁶⁸

2.2 RESULTADOS

Se diseñaron seis (6) colectores principales de alcantarillado pluvial, con descarga en redes existentes, cuatro (4) de ellos se conectan al sistema de alcantarillado pluvial, mientras los otros dos (2) colectores se conectan a una red troncal de alcantarillado combinado; tres (3) de estos interceptores cuentan con ramales para

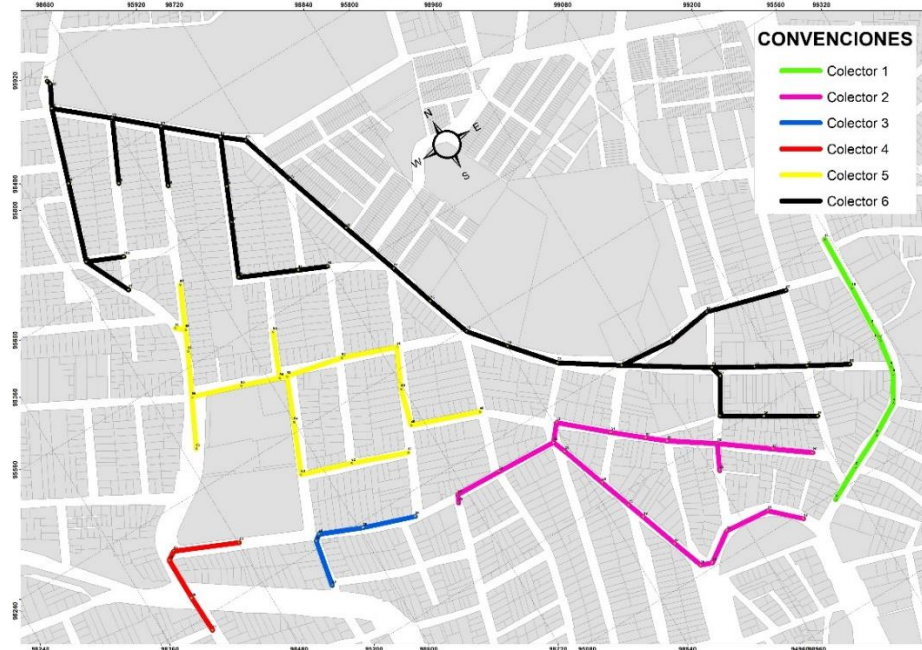
⁶⁶ EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

⁶⁷ EAB, 'NS-035 - Requerimientos Para Cimentación de Tuberías En Redes de Acueducto y Alcantarillado' (Bogotá, 2004).

⁶⁸ EAB, 'NS-029 - Pozos de Inspección'.

realizar la evacuación total del agua lluvia en el barrio San Vicente Sur Oriental. En la **Figura 11** se muestra la distribución de los colectores proyectados.

Figura 11. Alcantarillado Pluvial Proyectado



Fuente. Autor

2.2.1 Colector N°1

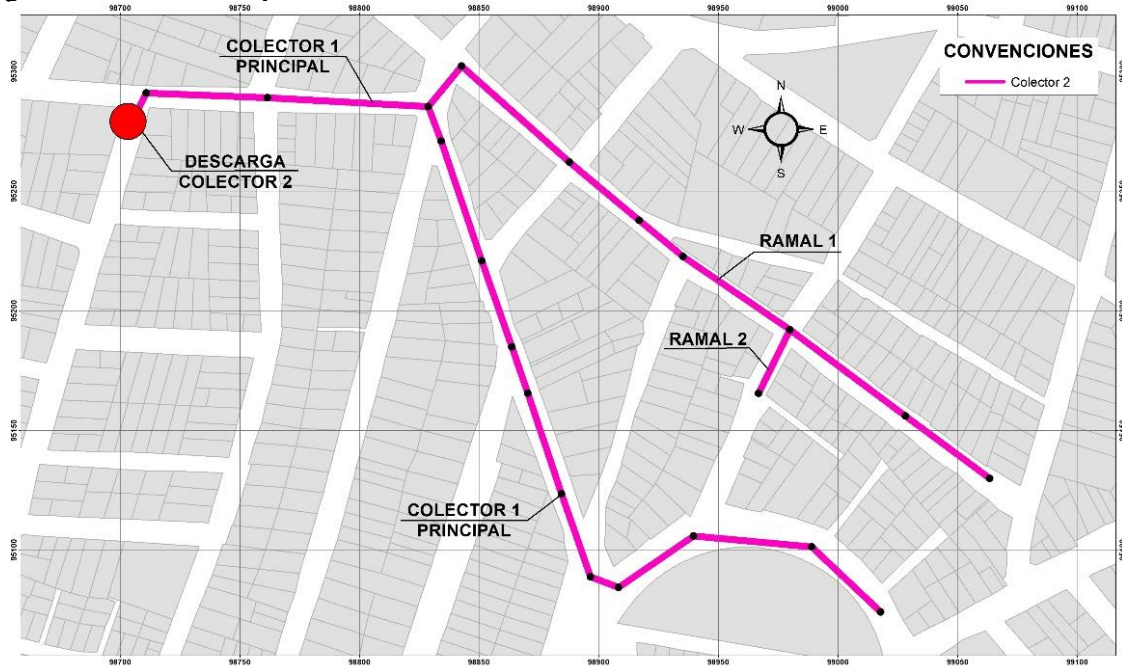
El colector N°1 tiene una longitud aproximada de 318m, el diámetro de la tubería a lo largo de la red es de 315mm y transporta un caudal de diseño es de 112.36 l/s, la descarga se realiza a una red pluvial existente tal como lo muestra la **Figura 12**, el pozo de llegada a esta red está propuesto como cámara de caída, ya que la diferencia entre la cota batea de entrada (proyectada) y salida (existente) del pozo es superior a 0.75m⁶⁹; el flujo que transporta es supercrítico, por la alta pendiente topográfica del sector; este colector maneja un área tributaria de 0.71 Ha.

⁶⁹ EAB, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017).

2.2.2 Colector N°2

⁷⁰ En el valor total del área tributaria y el caudal de diseño del colector principal, incluye el área y caudal de los ramales propuestos.

Figura 13. Colector Projectado N°2

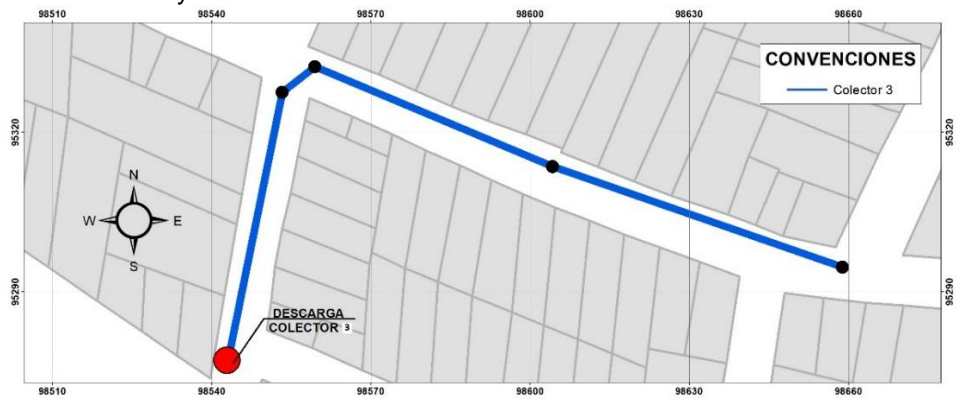


Fuente. Autor

2.2.3 Colector N°3

El colector N° 3 tiene una longitud de 165 metros, el diámetro según el diseño es de 315 mm en toda la red, maneja un caudal de 47.32 l/sg, el punto de descarga se hace a una red de alcantarillado pluvial existente (Ver **Figura 14**), el área tributaria que hace parte de este colector es de 0.29 Ha.

Figura 14. Colector Projectado N°3

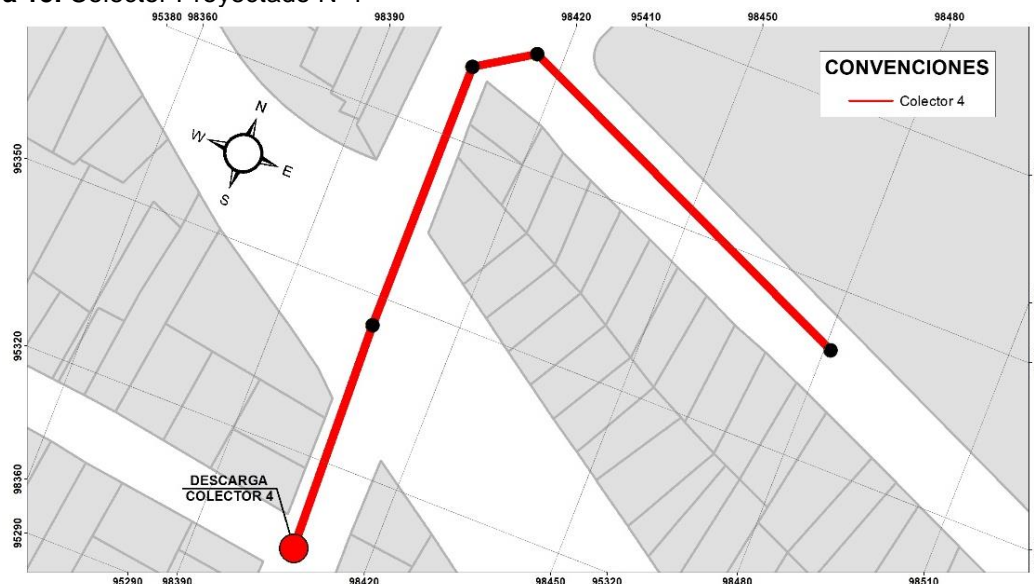


Fuente. Autor

2.2.4 Colector N°4

El colector N°4 tiene una longitud de 173 metros aproximadamente, el diámetro de diseño es de 315 mm, maneja un caudal de 71.97 l/s, el punto de descarga para este colector es a un sistema de alcantarillado pluvial existente (Ver **Figura 15**), el área tributaria que pertenece al colector N°4 es de 0.44 Ha.

Figura 15. Colector Proyectoado N°4



Fuente. Autor

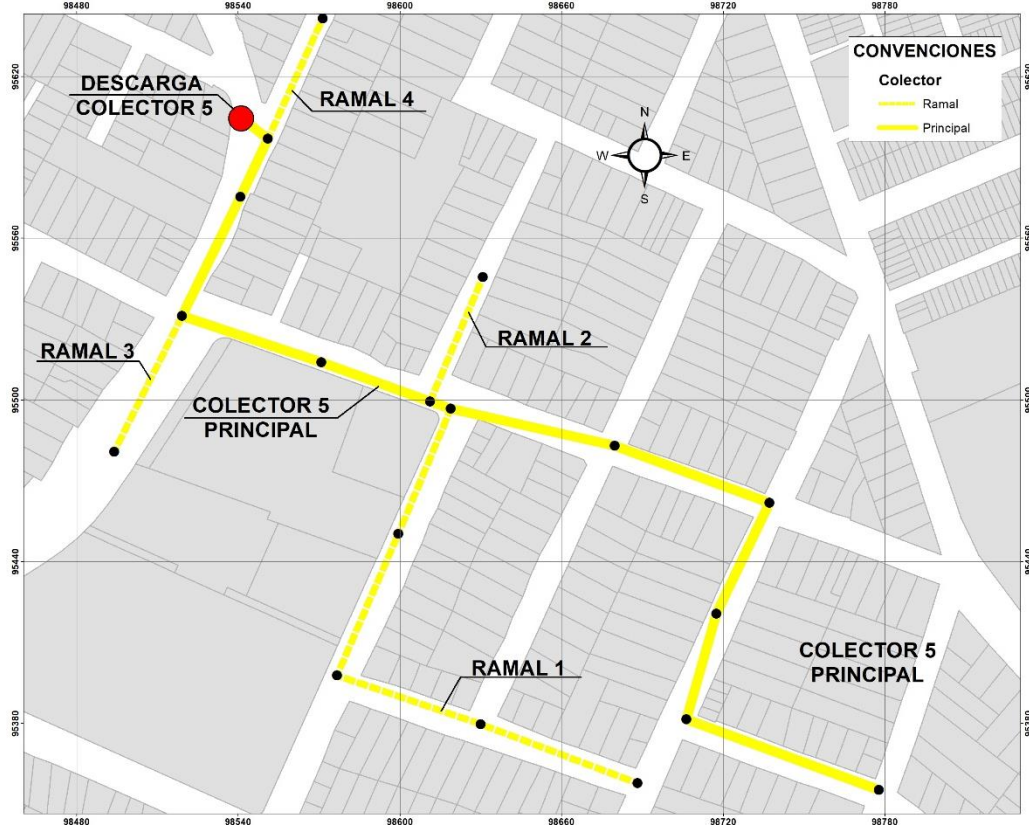
2.2.5 Colector N°5

El diseño de la red propuesta para el colector N°5 cuenta con un interceptor principal y cuatro (4) ramales como se puede observar en la **Figura 16**, el colector principal tiene una longitud de 476 metros aproximadamente, los diámetros que lo conforman son 315mm, 355mm, 500mm y 24" transportando un caudal de 1029.47 l/s, tiene cuatro cámaras de caída y su área tributaria es de 6.40 Ha⁷¹. El ramal número 1 cuenta con una longitud de 226.32 m, el diámetro de la tubería

⁷¹ En el valor total del área tributaria y el caudal de diseño del colector principal, incluye el área y caudal de los ramales propuestos.

que lo conforma es de 315mm para transportar 139.16 l/s y maneja un área tributaria de 1.81 Ha; el ramal número dos tiene una longitud de 50 metros aproximadamente, el diámetro de la tubería es de 315mm para transportar un caudal de 38.04 l/s de acuerdo al área tributaria de 0.23 Ha; para el ramal número 3 se diseñó la tubería con una longitud de 56 metros aproximadamente con un diámetro de 315mm el cual transporta un caudal de 136.95 l/s, el área tributaria que pertenece a este ramal es de 0.83 Ha; por último se encuentra el ramal número 4 con una longitud de 49 metros y un diámetro de 355mm para transportar un caudal de 48.13 l/s de acuerdo al área tributaria de 0.29 Ha. El colector N°5 se conecta a una red existente de alcantarillado combinado.

Figura 16. Colector Proyectado N°5

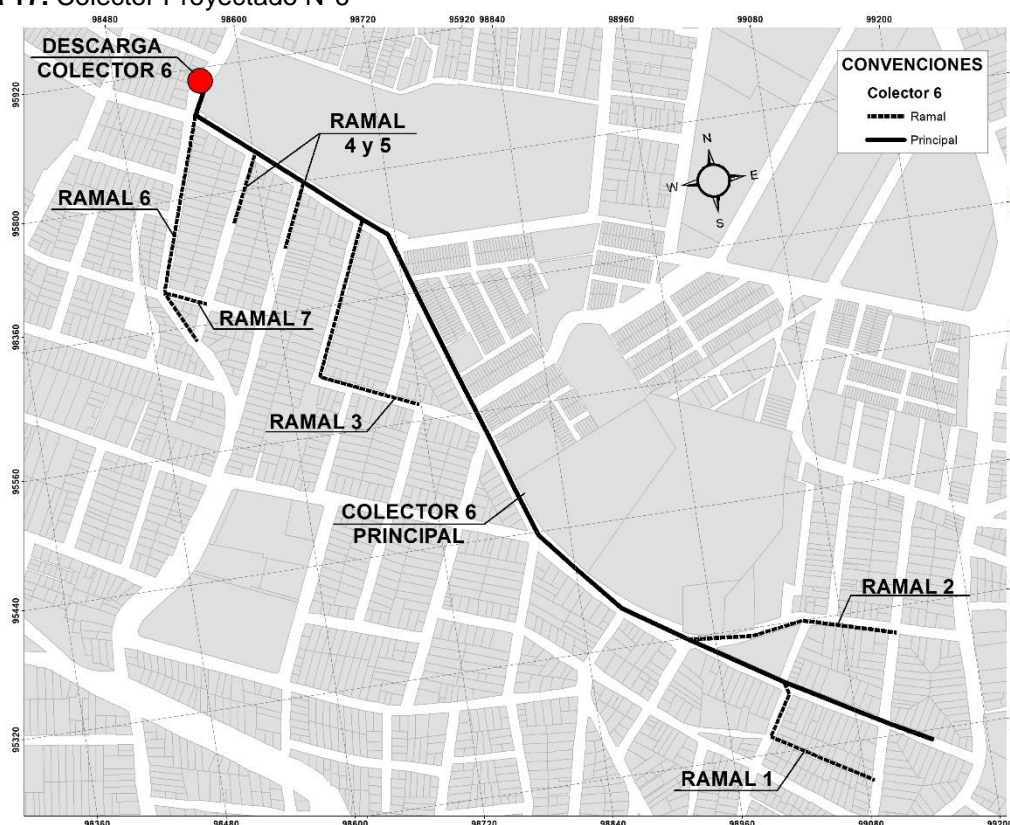


Fuente. Autor

2.2.6 Colector N°6

Es el colector más grande de todo el diseño, cuenta con una longitud de 1 km aproximadamente, los diámetros de la tubería que conforman esta red son de 315mm, 355mm, 450mm, 500mm, 24" y 27" manejando un caudal de 1.5 m³/s aproximadamente, el área tributaria total de este colector es de 9.75⁷² Ha. El colector N°6 descarga en una red troncal existente de alcantarillado combinado, donde la tubería es aproximadamente de un metro de diámetro.

Figura 17. Colector Proyectoado N°6



Fuente. Autor

⁷² En el valor total del área tributaria y el caudal de diseño del colector principal, incluye el área y caudal de los ramales propuestos

Adicionalmente cuenta con 7 ramales como se puede ver en la **Figura 17** cuyos datos de diseño se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 9. Información ramales del Colector N°6

Ramal	Longitud de red (m)	Diámetro	Caudal (l/sg)	Área Tributaria (Ha)
1	162.40	315mm – 355mm	128.22	0.79
2	198.70	315 mm	133.04	0.81
3	250.65	315mm – 355mm	261.39	1.61
4	64.60	315mm	103.21	0.62
5	70.85	315mm	107.67	0.65
6	225.20	315mm – 355mm	115.92	0.72
7	41.15	315mm	25.80	0.16

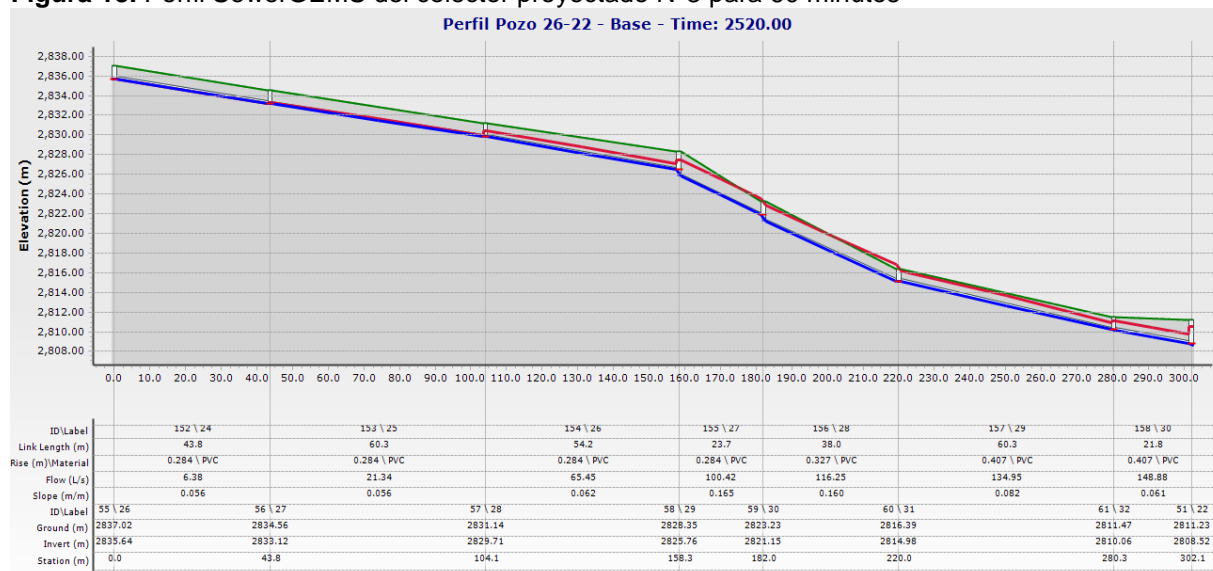
Fuente. Autor

La memoria de cálculo para cada uno de los datos mencionados anteriormente se encuentra en el **Anexo. 1**.

2.3 RESULTADOS MODELACIÓN SEWERGEMS

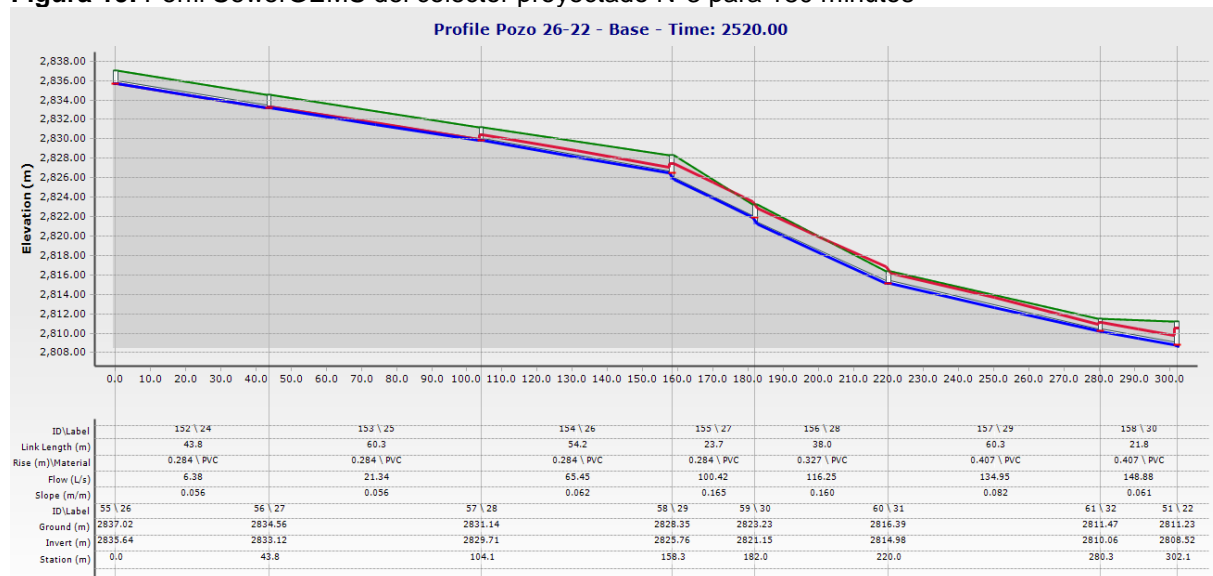
De acuerdo a los cálculos realizados para el diseño de la red de alcantarillado pluvial en el barrio San Vicente Sur-Oriental, se realizó la modelación en el programa SewerGEMS basados en las áreas tributarias, las cotas rasantes, cotas bateas, diámetro de la tubería y la intensidad de la lluvia, para verificar el comportamiento del sistema proyectado, asignando diferentes tiempos de precipitación desde 60 minutos hasta 180 minutos, (Ver **Anexo. 2**), de tal manera que se lograra observar si la red presentaba algún tipo de desbordamiento, sin embargo, el modelo presenta un comportamiento optimo, ya que durante los tiempos de precipitación asignados, la red llega a su pico máximo sin presentar represamiento en la red o desbordamiento en los pozos proyectados. En la **Figura 18** y la **Figura 19** se muestra el perfil con el comportamiento de la lámina de agua para un tiempo de 60 y 180 minutos, generado para el Ramal 1 del colector N°2.

Figura 18. Perfil SewerGEMS del colector proyectado N°3 para 60 minutos



Fuente. Autor

Figura 19. Perfil SewerGEMS del colector proyectado N°3 para 180 minutos



Fuente. Autor

Cada uno de los colectores se analizó y se pudo evidenciar que cada uno de ellos presentó el mismo comportamiento; esta modelación se realizó con el periodo de retorno de 5 años.

2.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En función de los resultados mostrados en la memoria de cálculo, se observa que los parámetros de velocidad, esfuerzo cortante y relación de llenado cumplen satisfactoriamente con las especificaciones de la norma NS-085, se garantizó que la profundidad mínima desde la rasante hasta la cota clave de la tubería fuera de 1m.

Se establecieron 110 áreas de drenaje, que se asignaron a los diferentes interceptores de acuerdo a la topografía que presenta el barrio San Vicente Sur-Oriental, de acuerdo a lo anterior, el diseño se tuvo que sectorizar. Se realizó la conexión de 4 colectores a sistemas de alcantarillado pluvial existente, sin embargo, en la parte baja del sector se tuvo que conectar 2 colectores a redes troncales del sistema de alcantarillado combinado, ya que los barrios aguas abajo no cuentan con sistemas de alcantarillado independientes de aguas lluvias y residuales.

El diseño se encuentra localizado en un sector con pendiente topográfica alta, es por esto que el diseño de la red genera un flujo supercrítico ya que las velocidades también son mayores, este resultado se presenta para los seis (6) colectores proyectados (Ver **Anexo. 1**); las velocidades varían entre 1.57 m/s y 8.8 m/s y aunque la norma no establece una velocidad mínima, si se estableció que el esfuerzo cortante estuviera por encima de 0.30 kg/m²; los conductos que tengan velocidades superiores a 5 m/s, deben contar con revestimiento interno para soportar el fenómeno de abrasión a largo plazo.

El área de estudio se encuentra en una zona residencial y comercial, esto significa que la capacidad de infiltración del suelo es baja y las pocas zonas verdes no son suficientes para infiltrar la precipitación que se pueda llegar a presentar en el sector, es por esto que el coeficiente de escorrentía es alto, haciendo que el agua lluvia deba ser drenada al sistema de alcantarillado, aumentando el diámetro de la tubería para poder transportar el agua sin generar colapso en la red.

En total se diseñaron 100 pozos de inspección con diámetro interno de 1,20m, sin embargo, se proyectaron 10 cámaras de caída que se localizaron en los puntos donde la diferencia entre la cota batea de entrada y salida fuera superior a 0.75m como lo establece la norma, estas estructuras se ubicaron con el fin de disipar la energía hidráulica y dar continuidad al flujo que se transporta en los diferentes colectores, además de reducir la velocidades y pendientes en los tramos. En la **Tabla 10** se relacionan los colectores y ramales que tienen cámaras de caída.

Tabla 10. Cámaras de Caída

Colector	Ramal	Cámara Caída	Cantidad
1	-	Si	1
2	-	Si	1
2	1	No	
2	2	No	
3	-	No	
4	-	No	
5	-	Si	4
5	1	No	
5	2	No	
5	3	No	
5	4	No	
6	-	Si	3
6	1	No	
6	2	No	
6	3	Si	1

Colector	Ramal	Cámara Caída	Cantidad
6	7	No	
6	5	No	
6	6	No	
6	7	No	

Fuente. Autor

Se localizó 125 sumideros a lo largo de los seis (6) colectores y ramales diseñados, donde se tuvo en cuenta el bombeo de la vía, el ancho de inundación, ancho de la vía, puntos bajos más favorables para captar más agua, pendiente longitudinal y transversal de la vía, entre otros, donde se les asignó un área de drenaje que cumpla con la capacidad del sumidero seleccionado.

Según la modelación realizada en SewerGEMS, el sistema de alcantarillado diseñado cuenta con la capacidad suficiente para transportar el agua lluvia con un periodo de retorno de 5 años, sin embargo, en caso que se presente una precipitación con un tiempo de retorno mayor a 10 años, la red puede llegar a presentar problemas en cuanto a su capacidad.

3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 CONCLUSIONES

- ✓ Según el análisis de la información de redes existentes en el sistema de alcantarillado combinado del barrio San Vicente Sur-Oriental, éste no cuenta con los diámetros aptos para transportar agua lluvia hasta las redes principales de descarga, ya que además del caudal de aguas lluvias, se le debe sumar el caudal de agua residual proveniente de viviendas haciendo que colapsen las tuberías y el agua rebose por los pozos de inspección, causando problemas de sanidad ambiental.
- ✓ Los sumideros existentes, se encuentran obstruidos por material vegetal, sedimentos y basuras del sector. A raíz de lo anterior, el agua lluvia hace un recorrido más largo, causando que la velocidad se incremente por la pendiente topográfica del barrio y que durante este recorrido el caudal aumente llegando a los barrios aguas abajo del área de estudio.
- ✓ De acuerdo a los criterios mostrados en la norma NS-085, se desarrolló el diseño de la red de alcantarillado pluvial, con el fin de separar los sistemas de agua residual y pluvial del Barrio San Vicente Sur-Oriental, para que cada sistema reciba el tratamiento adecuado.
- ✓ De acuerdo a la modelación realizada en el programa SewerGEMS, la red de alcantarillado pluvial proyectada para el área de estudio, cuenta con la capacidad suficiente para transportar el agua lluvia hasta el punto de descarga indicado, sin que presente rebosamiento de la red.

- ✓ Aunque el periodo de diseño que se utilizó fueron 5 años como lo establece la norma, según la modelación realizada en el programa, el sistema de alcantarillado pluvial puede alcanzar un periodo de diseño de hasta 10 años, sin presentar rebosamiento en la red.
- ✓ Dando respuesta a la pregunta planteada en el problema, la solución a la problemática de drenaje de agua lluvia para el barrio San Vicente Sur-Oriental, es dimensionar de manera adecuada las redes de alcantarillado, además de contar con estructuras complementarias como sumideros, sistemas de drenaje prefabricados con bordillo o sardinel drenante, entre otros, los cuales permiten llevar el agua hasta los pozos de inspección y a su vez, ser llevados por las redes de alcantarillado pluvial hasta su punto de descarga final, generando un manejo adecuado al sistema pluvial y evitando inundaciones en los barrios aledaños del barrio San Vicente Sur-Oriental.

3.2 RECOMENDACIONES

- ✓ El área de estudio se encuentra localizado en un sector de pendiente pronunciada, por tal motivo las fuerzas de empuje tienden a incrementar según el radio de curvatura de la tubería, la cabeza de velocidad, el área de la sección del tubo⁷³, entre otros; se recomienda equilibrar los empujes en tuberías que superen la pendiente señalada en la norma para tuberías enterradas, con la construcción de anclajes según los parámetros que se muestran en la norma NS-060 – Criterios de Diseño de Anclajes en redes de Acueducto y Alcantarillado.
- ✓ En caso de llevar a cabo el proyecto, se debe realizar el estudio de suelos para determinar el tipo de cimentación que necesitaría la tubería según los criterios señalados en la norma NS-035 Requerimientos para cimentación de tuberías en redes de acueducto y alcantarillado.
- ✓ La implementación de SUDS (Sistemas de drenaje Urbano Sostenible), como tanques de almacenamiento de aguas lluvias, drenes filtrantes, cunetas verdes, zonas de bioretención, sumidero tipo alcorque inundable, entre otros, se podría tener en cuenta para su implementación en el área de estudio, ya que permite la retención, filtrado mejora de la calidad del agua proveniente de las precipitaciones principalmente las que se asocian al primer lavado, ya que es un sistema eficiente para la remoción de contaminantes.⁷⁴

⁷³ EAB, 'NS-060 - Criterios de Diseño de Anclajes En Redes de Acueducto y Alcantarillado' (Bogotá, 2006).

⁷⁴ Secretaría Distrital de Ambiente, *Sistema Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS)*, 2011 <<http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/73754/Sistema+Urbanos+de+Drenaje+Sostenible>>.

- ✓ Se recomienda que los tramos con velocidades superiores a 6 m/sg, deben contemplar un pozo de inspección en material plástico o recubrimiento plástico para que soporte los esfuerzos que puedan generar a causa de altas velocidades.
- ✓ Tener en cuenta que este diseño se realizó con información secundaria; de ser llevado a cabo el proyecto, se debe realizar la topografía detallada del sector y una nueva revisión de los cálculos adaptándolo a las cotas topográficas detalladas; adicionalmente se debe hacer el estudio de suelos para determinar los parámetros de cimentación en la tubería, los cálculos estructurales para cada uno de los elementos a diseñar y cada uno de los parámetros que exige la norma de la EAB.
- ✓ Realizar la inspección con sistema CCTV (Circuito cerrado de televisión), para examinar el estado actual de la red existente del barrio San Vicente Sur-Oriental.

BIBLIOGRAFÍA

Arciniegas, Pablo, 'EL TIEMPO', 2017
<<http://www.eltiempo.com/bogota/poblacion-por-edades-de-bogota-2017-109238>>

Bentley Institute Press, *Modeling Software for Sanitary and Combined Sewers*
<<https://www.bentley.com/en/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/sewergems>>

Comisión Nacional del Agua, *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*, 2007 <<ftp://ftp.cna.gob.mx/Mapas/libros/pdf/2007/AlcantarilladoPluvial.pdf>>

Dolz, José; Gómez, Manuel, *PROBLEMATICA DEL DRENAJE DE AGUAS PLUVIALES EN ZONAS URBANAS Y DEL ESTUDIO HIDRÁULICO DE LAS REDES COLECTORAS* (Barcelona - España, 1994)

DOMÉNECH, IGNACIO ANDRÉS, SIAPA, 2014
<http://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo_3._alcantarillado_pluvial.pdf>

EAB, 'COEFICIENTES DE CURVAS IDF' (Bogotá, 2018)

———, 'NS-029 - Pozos de Inspección' (Bogotá, 2016)

———, 'NS-035 - Requerimientos Para Cimentación de Tuberías En Redes de Acueducto y Alcantarillado' (Bogotá, 2004)

———, 'NS-047 - Sumideros' (Bogotá, 2006)

———, 'NS-060 - Criterios de Diseño de Anclajes En Redes de Acueducto y Alcantarillado' (Bogotá, 2006)

———, 'NS-085 - Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado' (Bogotá, 2017)

———, *PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO (Documento Técnico Soporte)* (Bogotá, 2006)

———, *Reporte Sistema SAP* (Bogotá, 2017)

IDEAM, 'IDEAM', 2014 <http://www.ideam.gov.co/curvas-idf?p_p_id=110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_struts_action=%2Fdocument_library_display%2Fview_file_entry&_11>

Iglesias, Mauricio; Montero-Castro, I.; Mollerup, A.L.; Sin, G., 'Self-Optimising Control of Sewer Systems', 2013

López Cualla, Ricardo Alfredo, *ELEMENTOS DE DISEÑO PARA ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS*, ed. by ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIEROS (Bogotá - Colombia, 2015)

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, *Resolución 0330* (Bogotá - Colombia, 2017)

Monsalve Sáenz, Germán, *HIDROLOGÍA EN LA INGENIERÍA*, ed. by ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIEROS (Bogotá, 1995)

Nan, Yang; Bao-hui, Men; Chun-kun, Lin, 'Impact Analysis of Climate Change on Water Resources', 2011

PAVCO, *Manual Técnico Tubosistemas Para Alcantarillado Novafort - Novaloc*, 2014 <<https://pavco.com.co/manuales-tecnicos>>

———, *Tubería PVC Alcantarillado - Novafort*, 2017 <<https://pavco.com.co/tuberia-pvc-alcantarillado-novafort-pavco>>

Press, Bentley Institute, 'Welcome to Bentley SewerGEMS V8i Help', in *Bentley SewerGEMS V8i User's Guide*, ed. by Bentley Institute Press

Sarmiento Abril, Pierre Patrick, *DIGITALIZACIÓN DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA DE UN ALCANTARILLADO Y EVALUACIÓN HIDRÁULICA CON APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS COMPATIBLES CON ARCGIS: SEWERGEMS* (Cuenca - Ecuador, 2012)

Secretaría Distrital de Ambiente, *Sistema Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS)*, 2011

<<http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/73754/Sistema+Urbanos+de+Drenaje+Sostenible>>

Sistema Informativo del Gobierno - SIG, 'PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA', 2017 <<http://es.presidencia.gov.co/noticia/170316-Educacion-salud-y-servicios-publicos-avanzan-en-encuesta-de-calidad-de-vida-2016>>

www.esri.com, 'Mapa Consulta SIGUE 2016', 2016 <<http://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=6f4c319c59ed4c8e888d7a934f291fdb>>

Zanja, Porcería Sin, 'Porcería Sin Zanja', 2016 <<https://www.poceriasinzanja.es/recorrido-por-la-historia-del-alcantarillado/>>

ANEXOS

Anexo. 1 – Memorias de Cálculo (Archivo Excel)

Anexo. 2 – Modelación SewerGEMS

Anexo. 3 – Planos de Diseño (Archivos AutoCAD y pdf)

Anexo. 4 – Carta entrega de proyecto (Scanner pdf)